

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul

**ANALISIS PENGGUNAAN TRAFO PEMAKAIAN SENDIRI
UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN BEBAN DI KLUSTER A,B,C,D
DAN F DI PLTP ULUBELU (2X55MW)**

Disusun Oleh:

TRESNO WIBOWO

2014-11-118

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Program Studi Sarjana Teknik Elektro**

SEKOLAH TINGGI TEKNIK-PLN

Jakarta, 25 Juli 2018

Mengetahui,

Disetujui,

(Syarif Hidayat, S.Si., M.T.)

Kaprodi S1 Teknik Elektro

(Ir.Agung Hariyanto,M.T.)

Pembimbing Skripsi

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI

Nama : Tresno Wibowo
NIM : 2014-11-118
Jurusan : S1 Teknik Elektro
Judul : Analisis Penggunaan Trafo Pemakaian Sendiri Untuk
Memenuhi Kebutuhan Beban di Kluster A, B, C, D dan F di
PLTP Ulubelu (2 x 55 MW).

Telah disidangkan dan dinyatakan Lulus Sidang Skripsi pada Program Studi S1 Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik – PLN pada tanggal 15 Agustus 2018.

Nama Penguji	Jabatan	Tanda Tangan
1. Suwarno, Ir., MT	Ketua Penguji	
2. Syarif Hidayat, S.Si, MT	Sekretaris	
3. Sampurno SP, Ir., MT	Anggota	

Mengetahui :
Ka Prodi S1 Teknik Elektro

Syarif Hidayat, S.Si., MT

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

NAMA : Tresno Wibowo

NIM : 2014-11-118

JURUSAN : S1 TEKNIK ELEKTRO

JUDUL SKRIPSI : Analisis Penggunaan Trafo Pemakaian Sendiri Untuk Memenuhi Kebutuhan Beban di Kluster A, B, C, Dan F di PLTP Ulubelu (2 x 55 MW).

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana baik di lingkungan STT-PLN maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia memikul segala resiko jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 25 Juli 2018

Tresno Wibowo

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada yang terhormat:

Ir.Agung Hariyanto,MT.

Selaku Dosen Pembimbing yang dengan kesabarannya telah memberikan petunjuk, saran-saran serta bimbingannya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Terima kasih yang sama, saya sampaikan kepada kedua orang tua saya dan kedua kakak saya dan PT. PGE (Pertamina Geothermal Energy) Area UlubeluT. PLN yang telah mengizinkan melakukan pengambilan data dalam penyelesaian Skripsi ini.

Jakarta, 25 Juli 2018

Tresno Wibowo

2014-11-118

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Sekolah Tinggi Teknik – PLN, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tresno Wibowo

NIM : 2014-11-118

Program Studi : Strata 1

Jurusan : Teknik Elektro

Jenis Karya : **Skripsi**

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Sekolah Tinggi Teknik – PLN **Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul :

**Analisis Penggunaan Trafo Pemakaian Sendiri Untuk Memenuhi
Kebutuhan Beban di kluster A, B, C, Dan F di PLTP Ulubelu (2 x 55 MW).**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Sekolah Tinggi Teknik – PLN berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 25 Juli 2018

Yang Menyatakan

(Tresno Wibowo)

ANALISIS PENGGUNAAN TRAFU PEMAKAIAN SENDIRI UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN BEBAN DI KLUSTER A,B,C ,D DAN F DI PLTP ULUBELU (2X55 MW)

**Tresno Wibowo,201411118
dibawah bimbingan Ir.Agung Hariyanto,MT.**

ABSTRAK

Pembangkit merupakan objek vital negara, sehingga di perlukan pengawasan khusus pada setiap peralatan yang ada. Penggunaan peralatan bantu pembangkit sebagai penunjang kerja pembangkit juga harus di perhatikan. Trafo adalah salah satu peralatan bantu pembangkit yang di gunakan untuk mensuplai beban beban di bawahnya. Apabila trafo terbebani 107% maka hanya dapat bekerja dalam waktu 6 jam perhari karena suhu hotspot mencapai 110°C. Peralatan bantu pun tidak dapat bekerja sebagai mestinya. Sehingga kehandalan suatu pembangkit akan terganggu. Untuk meningkatkan kehandalan dari sistem Pembangkit, dilakukan penambahan unit trafo berkapasitas 200 kVA. Pada penelitian ini akan dicari nilai pembebanan maksimum pada trafo lalu akan didapatkan suhu pada hotspot sehingga akan di ketahui berapa maksimum trafo dapat bekerja dalam keadaan beban berlebih. Dilakukan pemisahan beban untuk menurangi pembebanan pada trafo yang mengalami beban lebih. Dan dilakukan penelitian perubahan nilai arus hubung singkat di bus incoming cluster sebelum dan sesudah penambahan trafo. Penelitian ini menagacu pada IEC 354 tahun 1972.

Kata kunci : pembangkit,pemakaian sendiri,trafo,pembebanan.

ANALISIS PENGGUNAAN TRAFU PEMAKAIAN SENDIRI UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN BEBAN DI KLUSTER A,B,C ,D DAN F DI PLTP ULUBELU (2X55MW)

Tresno Wibowo,201411118
Under the Guidance of Ir.Agung Hariyanto,MT.

ABSTRACT

Generating becomes a vital object, where special supervision is needed for each existing equipment. The use of assistive devices as a labor generator must also be taken into account. Transformer is one of the functions used to supply load loads below it. If the transformer is burdened with 107%, it can only work within 6 hours per day because the temperature of the hotspot reaches 110 ° C. The help scale cannot work properly. If so, the plant will be disturbed. To improve the reliability of the Generating system, an explanation of the 200kVA transformer unit was made. In this study, the maximum loading value on the transformer will be obtained at a hot temperature which will be analyzed at the maximum level it can work in excess conditions. Load taking to reduce load on the transformer that is going on more. And faced with the values of short circuit current in the group entering before and after the transformer. This study referred to IEC 354 in 1972.

Keywords: generator, own use, transformer, loading.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan Penelitian	2
1.2.1 Identikasi Masalah	2
1.2.2 Ruang Lingkup Masalah	2
1.2.3 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.3.1 Tujuan Penulisan	2
1.3.2 Manfaat Penelitian	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Landasan Teori	5
2.2.1 Kontruksi Transformator	6
2.3 Prinsip Kerja Transformator	15
2.4 Peralatan Indikator	15
2.4.1 Termometer	15
2.4.1 Peralatan Proteksi Transformator	16
2.5 Kerangka Pemikiran	16
BAB III METODE PENELITIAN.....	17

3.1 Rancangan Penelitian	17
3.2 Analisa Kebutuhan	18
3.2.1 Variabel Penelitian	18
3.1.2 Teknik Pengumpulan Data	18
3.3 Permasalahan Penelitian.....	19
3.3.1 Sistem Kelistrikan PLTP Ulubelu.....	19
3.3.2 Objek Penelitian	21
3.3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.4 Teknik Analisis.....	21
3.4.1 Metode Newton Rhapson.....	21
3.4.2 Penyelesaian aliran daya menggunakan metode newton-Rhapson	23
3.4.3 Melakukan perhitungan jumlah beban	25
3.4.4 Menghitung Beban Non Motor	25
3.4.5 Penentuan Kenaikan Temperatur	25
3.4.6 Arus Hubung Singkat	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Penelitian	32
4.1.1 Data Transformator distribusi 1	32
4.1.2 Data Transformator Distribusi 2	32
4.1.3 Data Transformator Distribusi 3	33
4.1.4 Data Beban yang terpasang pada trafo 1	33
4.1.5 Data Beban yang terpasang pada trafo 2	34
4.1.6 Beban yang Terpasang pada Trafo 3	35
4.2 Pembahasan Perhitungan pembebanan trafo.....	38
4.2.1 Simulasi Pembebanan	38
4.2.2 Perhitungan Kenaikan Suhu Hotspot trafo Dalam Beban Penuh	42
4.3 Penambahan Trafo untuk <i>Cluster C</i>	44
4.3.1 Memperhitungkan Kapasitas Trafo.	44
4.3.2 Simulasi Penambahan Trafo.....	46
4.3.3 Pengaruh penambahan trafo	46
BAB V PENUTUP	48
5.1 Simpulan	48

5.2 Saran	48
-----------------	----

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Batasan nilai parameter minyak isolasi	9
Tabel 2. 2 Macam-macam sistem pendingin pada transformator	12
Tabel 3. 1 Lamanya tempratur yang diperbolehkan beroperasi	31
Tabel 4. 1 Beban Trafo 1 pada <i>Cluster C</i>	33
Tabel 4. 2 Beban Trafo 1 Pada <i>Cluster A</i>	34
Tabel 4. 3 Beban Trafo 1 Pada <i>Cluster B</i>	34
Tabel 4. 4 Beban Trafo 2 Pada <i>Cluster D</i>	35
Tabel 4. 5 Beban Trafo 2 Pada <i>Cluster F</i>	35
Tabel 4. 6 hasil dari Beban Pada kondisi 1	38
Tabel 4. 7 Kondisi trafo pada simulasi pembebanan kondisi 1	39
Tabel 4. 8 hasil Daftar Beban kondisi 2	39
Tabel 4. 9 Kondisi trafo pada beban <i>continuous + intermittent</i> yang aktif	40
Tabel 4. 10 Daftar Beban kondisi 3	40
Tabel 4. 11 Kondisi trafo pada beban <i>continuous + intermittent + emergency</i> yang aktif	41
Tabel 4. 12 perbandingan pembebanan kondisi 1, 2 dan 3	42
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Total Beban pada busbar baru	45
Tabel 4. 14 Data pembebanan trafo setelah penambahan trafo	46
Tabel 4. 15 Hasil perhitungan arus hubung singkat tiga phasa di busbar <i>incoming cluster C</i> dari ETAP	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Transformator	6
Gambar 2. 2 Kontruksi Transformator	7
Gambar 2. 3 Inti Besi.....	8
Gambar 2. 4 Kumparan Fasa R-S-T	8
Gambar 2. 5 Bushing	10
Gambar 2. 6 Konservator	10
Gambar 2. 7 <i>Silicagel</i>	11
Gambar 2. 8 Kontruksi konservator dengan <i>rubber bag</i>	11
Gambar 2. 9 OLTC Pada Transformator	13
Gambar 2. 10 <i>Neutral grounding resistance</i> (NGR)	14
Gambar 2. 11 Rangkaian Pengganti Transformator	15
Gambar 2. 12 Alur kerangka Pemikiran	16
Gambar 3. 1 Diagram Penelitian	17
Gambar 3. 2 Diagram Satu Garis PLTP Ulubelu	19
Gambar 3. 3 Diagram satu garis sistem pemakaian sendiri	20
Gambar 4. 1 Single Line Diagram pada <i>Cluster C</i> dan <i>D</i>	36
Gambar 4. 2 Diagram satu garis <i>Cluster f</i>	36
Gambar 4. 3 Diagram satu garis <i>Cluster A</i>	37
Gambar 4. 4 Diagram satu garis <i>Cluster B</i>	37
Gambar 4. 5 Busbar pada cluster c sebelum pemisahan beban motor dan bukan motor.	45
Gambar 4. 6 Busbar Pada cluster c setelah pemisahan beban	45
Gambar 4. 7 Pemasangan trafo baru pada <i>cluster c</i>	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A – Form Bimbingan Skripsi.....	A1
Lampiran B – Single Line Diagram	B1
Lampiran C – Data Suhu Daerah Ulubelu.....	C1
Lampiran D – Report ETAP kondisi 1	D1-D6
Lampiran E – Report ETAP Kondisi 2.....	F1-F6
Lampiran F – Report ETAP Kondisi 3.....	E1-E6
Lampiran G – Report ETAP Perbaikan	G1-G6
Lampiran H – Report ETAP Arus Hubung Singkat	H1-H3
Lampiran I – Report ETAP Arus Hubung Singkat	I1-I3

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu peralatan yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik yaitu transformator. Fungsi transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya dengan frekuensi yang konstan.

Trafo merupakan komponen yang berperan sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Karena peran penting trafo tersebut di perlukan penanganan khusus dalam pengoprasiannya. Selama ini kita sering mengabaikan pengoprasian trafo dengan membebani trafo tersebut tanpa melihat karakteristik dari trafo tersebut. Pengoprasian trafo berkaitan dengan pembebanan yang dilakukan terhadap trafo tersebut.

Dalam pembebanan trafo akan menimbulkan rugi-rugi yang akan mempengaruhi besarnya efisiensi yang di dapatkan. Rugi-rugi ini terdiri dari rugi tembaga dan rugi inti besi. Yang mengakibatkan suplai listrik untuk beban juga terganggu.

Bertambahnya sumur panas bumi pada kluster C di PLTP ulubelu, mengakibatkan penambahan beban motor untuk pengoprasiannya maka hal tersebut menimbulkan suatu permasalahan untuk trafo yang telah terpasang. Karena penambahan beban tersebut melebihi dari nilai cadangan trafo. Untuk menyelesaikan masalah yang ada di perlukan perhitungan jumlah beban yang terpasang saat ini yang di tanggung oleh trafo.

1.2 Permasalahan Penelitian

1.2.1 Identikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah di bahas diatas, masalah dapat di identifikasi sebagai berikut

1. Bagaimana beban tetap dapat beroperasi secara optimal?
2. Seberapa besar trafo sekarang terbebani?

1.2.2 Ruang Lingkup Masalah

Untuk memperjelas tujuan dari penelitian ini maka di buat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Perhitungan seberapa besar trafo terbebani sekarang
2. Melakukan perencanaan penambahan trafo
3. Dilakukan perhitungan arus hubung singkat tiga fasa

1.2.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam skripsi ini rangkum sebagai berikut ini :

1. Bagaimana cara menghitung beban total transformator?
2. Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap suhu trafo?
3. Bagaimana pengaruh penambahan trafo terhadap kelistrikan pemakaian sendiri?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penulisan

1. Untuk mengetahui pembebanan trafo pada *cluster* c pada PLTP ulubelu saat ini.
2. Untuk mengetahui pengaruh pembebanan terhadap suhu trafo

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penulisan skripsi ini adalah

1. Bagi mahasiswa :
 - a. Untuk memperoleh pengalaman operasional dalam suatu industri mengenai penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sesuai dengan bidang yang diambil oleh penulis.

- b. Untuk memperoleh kesempatan dalam menganalisa permasalahan yang ada di lapangan berdasarkan teori yang diperoleh selama proses belajar.
- 2. Bagi Institusi :
 - a. Mendapatkan bahan referensi pengembangan teknis pengajaran antara link and match dunia pendidikan dan dunia kerja.
 - b. Untuk menghasilkan lulusan yang berkualitas tinggi.

1.4 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai urutan serta struktur skripsi ini, penulis membagi pembahasan tersebut menjadi lima bab yaitu bab satu mengenai pendahuluan, bab dua mengenai penggambaran landasan teori transformator, bab tiga mengenai sistem kelistrikan pemakaian sendiri pada PLTP, bab empat mengenai perhitungan daya untuk sistem kelistrikan pemakaian di cluster A,B,C,D dan F ,bab lima merupakan kesimpulan dari skripsi ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan hasil penelitian Afriyastuti Herawati yang berjudul “*Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator Berdasarkan Standar IEC 60076-7*” maka diperlukan penjelasan mengenai jenis dan spesifikasi dari transformator tenaga/daya. Transformator merupakan suatu peralatan yang dapat mengkonversikan tegangan listrik bolak balik baik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya. Transformator daya dibedakan menjadi tiga yaitu [9]:

1. Transformator distribusi

Transformator daya dengan *rating* daya maksimum 2500 kVA (tiga fasa) atau 833 kVA (satu fasa)

2. Transformator daya menengah

Transformator daya dengan *rating* daya maksimum 100 MVA tiga fasa atau 33,3 MVA satu fasa

3. Transformator daya besar

Transformator daya dengan *rating* daya di atas 100 MVA tiga fasa atau 33.3 MVA satu fasa

Usia pakai dan efisiensi suatu transformator tenaga sangat dipengaruhi oleh beban yang dilayani oleh transformator tersebut. Pembebanan pada suatu transformator dapat menimbulkan panas pada kumparan transformator. Jumlah beban yang dilayani oleh transformator tersebut sudah selayaknya sesuai dengan *rating nameplate* transformator itu. Pengaplikasian beban yang melebihi *rating nameplate* dapat menimbulkan beberapa tingkat resiko.

Ketika suatu transformator diberi energi dan dibebani pada suhu lingkungan (θ_a), kehilangan daya yang disebabkan oleh rugi-rugi inti, rugi-rugi kumparan dan rugi-rugi bocor merupakan sumber panas dan menyebabkan kenaikan suhu kumparan dan minyak transformator. Rugi-rugi bocor dapat mempengaruhi keseluruhan *rating* transformator karena dapat menimbulkan *hot-spot* ketika arus yang mengalir menjadi berlebih sehingga mempengaruhi

keseluruhan transformator. *Hot-spot* merupakan titik terpanas pada kumparan transformator. Untuk mengatasi suhu panas pada transformator maka diperlukan pendingin.

2.2. Landasan Teori

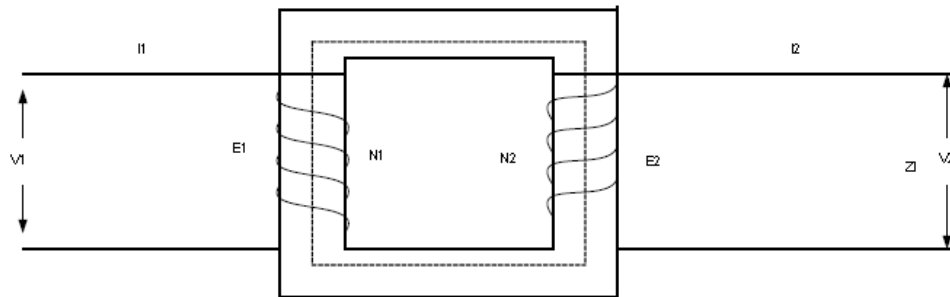
Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya atau tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial.

Transformator satu fasa mempunyai satu sisi masukan dan satu sisi keluaran. Sisi masukan disebut sisi primer dan sisi keluaran disebut sisi sekunder. Sedangkan transformator tiga fasa mempunyai tiga buah sisi masukan dan tiga buah sisi keluaran. Transformator tiga fasa dapat dibentuk dari tiga buah transformator satu fasa ataupun dari bentuk konstruksi transformator tiga fasa satu inti. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu sebagai berikut:

1. Transformator pembangkit
2. Transformator distribusi
3. Transformator gardu induk/penyaluran

Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama. Secara umum transformator terdapat dua sisi kumparan, yaitu sisi primer (N_1) dan sisi sekunder (N_2), seperti terlihat gambar 2.5 dibawah ini. Dimana jika tegangan pada sisi primer lebih besar dari sisi sekunder maka disebut transformator penurun tegangan. Sebaliknya bila tegangan pada sisi sekunder lebih besar dari

pada sisi primer, maka dinamakan transformator penaik tegangan.



Gambar 2. 1 Transformator

Keterangan gambar 2.1 yaitu :

N_1 = Jumlah lilitan sisi primer

N_2 = Jumlah lilitan sisi sekunder

V_1 = Tegangan input (volt)

V_2 = Tegangan output (volt)

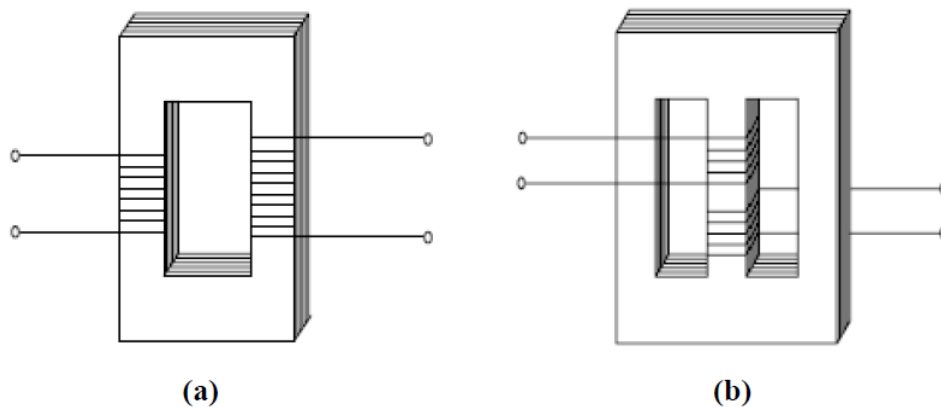
E_1 = GGL efektif sisi primer (volt)

E_2 = GGL efektif sisi sekunder (volt)

ϕ = Fluksi magnet

2.2.1 Kontruksi Transformator

Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet, menghendaki adanya gandingan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandingan magnet ini berupa *inti besi* tempat melakukan *fluks* bersama. Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu tipe inti (*core*) dan tipe cangkang (*shell*).



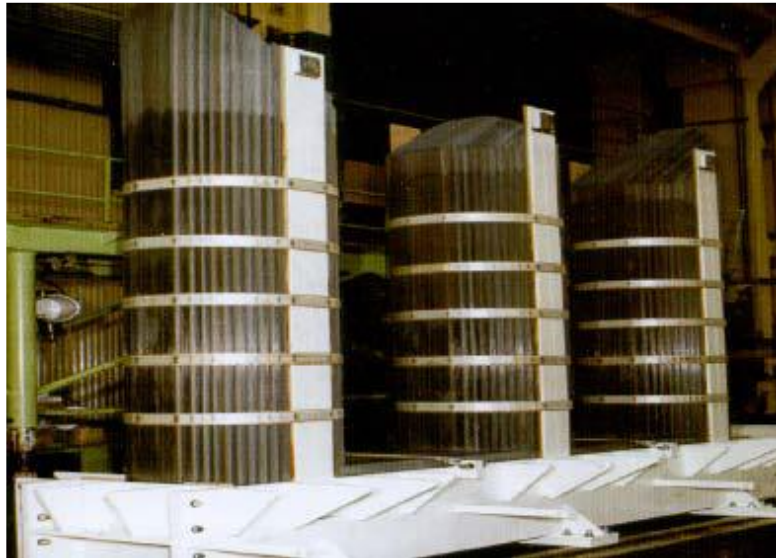
Gambar 2. 2 Kontruksi Transformator

Keterangan :

- a. Tipe Inti (*Core Type*)
- b. Tipe Cangkang (*Shell Type*)

2.2.1.1 Inti Besi

Inti besi digunakan sebagai media jalannya fluks yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi yang di susun sedemikian rupa untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current.



Gambar 2. 3 Inti Besi

2.2.1.2 Kumparan Transformator (*Winding*)

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.



Gambar 2. 4 Kumparan Fasa R-S-T

2.2.1.3 Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

Tabel 2. 1 Batasan nilai parameter minyak isolasi

Property	Highest voltage for equipment kV		
	<72,5	72,5 to 170	>170
Appearance	Clear, free from sediment and suspended matter		
Colour (on scale given in ISO 2049)	Max. 2,0	Max. 2,0	Max. 2,0
Breakdown voltage (kV)	>55	>60	>60
Water content (mg/kg) ^a	20 ^b	<10	<10
Acidity (mg KOH/g)	Max. 0,03	Max. 0,03	Max. 0,03
Dielectric dissipation factor at 90°C and 40 Hz to 60 Hz ^c	Max. 0,015	Max. 0,015	Max. 0,010
Resistivity at 90 °C (GΩm)	Min. 60	Min. 60	Min. 60
Oxidation stability	As specified in IEC 60296		
Interfacial tension (mN/m)	Min. 35	Min. 35	Min. 35
Total PCB content (mg/kg)	Not detectable (< 2 total)		
Particles	-	-	See Table B 1 ^d

2.2.1.4 Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo. Pada bushing dilengkapi fasilitas untuk pengujian tentang kondisi bushing yang sering disebut *center tap*.

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi pada bushing terdiri dari dua jenis yaitu *oil impregnated paper* dan *resin impregnated paper*. Pada tipe *oil impregnated paper isolasi* yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi sedangkan pada tipe *resin impregnated paper isolasi* yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.



Gambar 2. 5 Bushing

2.2.1.5 Tangki Konservator

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2. 6 Konservator

2.2.1.6 Silicagel

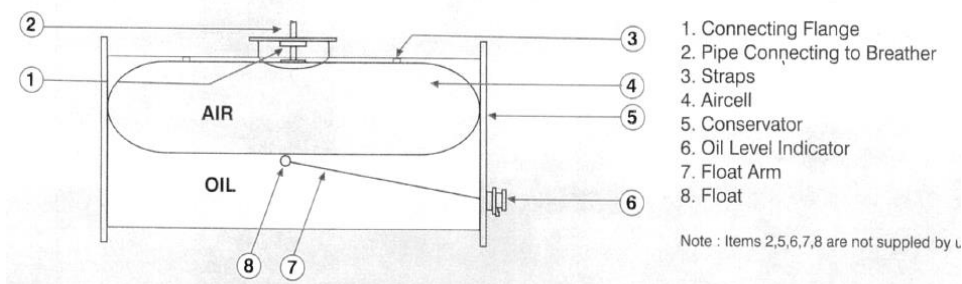
Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara didalam

konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silicagel.



Gambar 2. 7 Silicagel

Untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan *brether bag*/*rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang didalam tangki konservator.



Gambar 2. 8 Kontruksi konservator dengan *rubber bag*

2.2.1.7 Pendingin

Sebagai instalasi tenaga listrik yang dialiri arus maka pada transformator akan terjadi panas yang sebanding dengan arus yang mengalir serta temperatur udara disekeliling transformator tersebut. Jika temperatur luar cukup tinggi dan beban transformator juga tinggi maka

transformator akan beroperasi dengan temperatur yang tinggi pula. Untuk mengatasi hal tersebut transformator perlu dilengkapi dengan sistim pendingin yang bisa memanfaatkan sifat alamiah dari cairan pendingin dan dengan cara mensirkulasikan secara teknis, baik yang menggunakan sistem radiator, sirip-sirip yang tipis berisi minyak dan dibantu dengan hembusan angin dari kipas-kipas sebagai pendingin yang dapat beroperasi secara otomatis berdasarkan pada *setting* rele temperatur dan sirkulasi air yang bersinggungan dengan pipa minyak isolasi panas

Tabel 2. 2 Macam-macam sistem pendingin pada transformator

No.	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

2.2.1.8 Tap Charger (On Load Tap Charger)

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan *output* yang stabil sedangkan besarnya tegangan *input* tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer, diharapkan dapat mengubah perbandingan antara belitan primer dan sekunder. Dengan demikian tegangan *output* sekunder pun dapat disesuaikan dengan

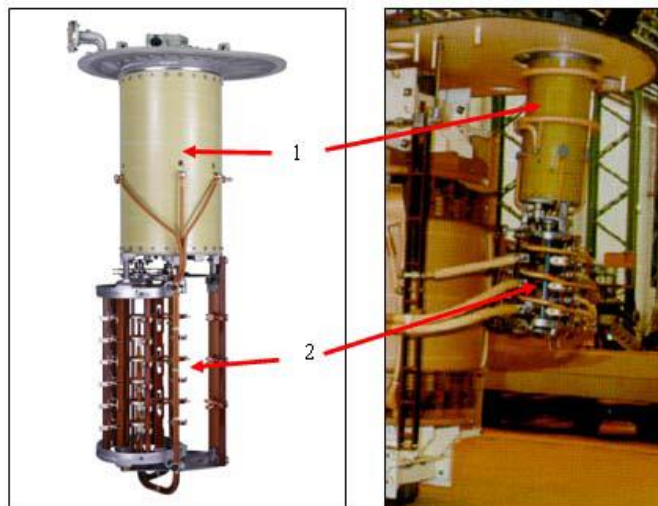
kebutuhan sistem, berapa pun tegangan *input*/primernya. Penyesuaian perbandingan belitan ini disebut *Tap changer*.

Proses perubahan perbandingan belitan ini dapat dilakukan pada saat transformator sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*Off load tap changer*).

Tap changer terdiri dari :

- *Selector Switch*
- *Diverter Switch*
- Tahanan transisi

Dikarenakan aktifitas *tap changer* lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan *tap changer* dipisah. *Selector switch* merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal terminal untuk menentukan posisi tap atau perbandingan belitan primer. *Diverter switch* merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.



Gambar 2. 9 OLTC Pada Transformator

Keterangan :

1. *Diverter Switch*
2. *Selector Switch*

2.2.1.9 NGR (*Neutral Grounding Resistant*)

Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi netral ke tanah.

Ada dua jenis NGR, Liquid dan Solid :

1. Liquid

Berarti resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung didalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

2. Solid

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari *Stainless Steel*, *FeCrAl*, *Cast Iron*, *Copper Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai nilai tahananannya.

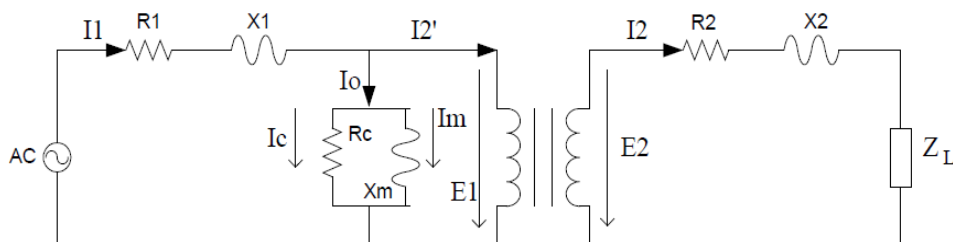


Gambar 2. 10 *Neutral grounding resistance (NGR)*

2.3 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif, yang terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetik melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik, maka fluks bolak balik akan muncul dalam inti (*core*) yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, serta arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetik).

Secara umum, rangkaian pengganti sebuah transformator adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 11 Rangkaian Pengganti Transformator

2.4 Peralatan Indikator

2.4.1 Termometer

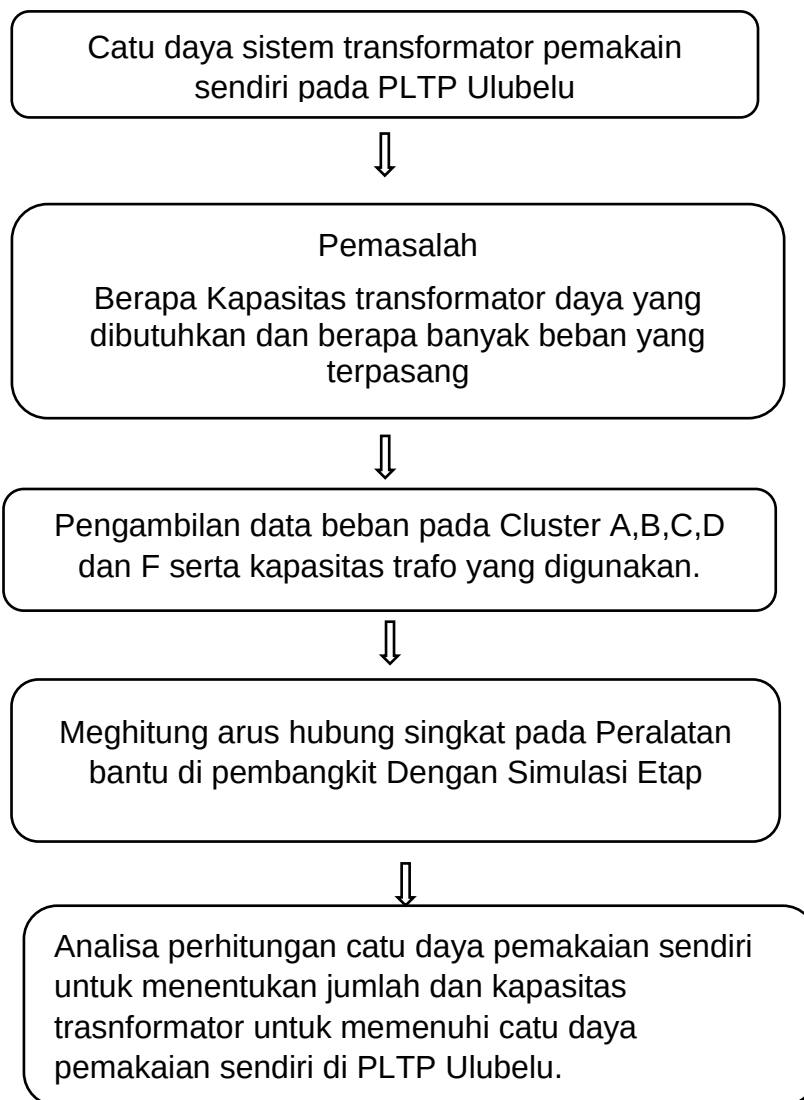
Adalah alat pengukur tingkat panas dari trafo baik panas kumparan primer, kumparan sekunder dan minyak trafo. Termometer ini bekerja atas dasar air raksa (mercuri/Hg) yang tersambung dengan tabung pemuaian dan tersambung dengan jarum indikator derajat panas.

2.4.1 Peralatan Proteksi Transformator

Peralatan proteksi Transformator diantaranya adalah rele bucholz (mendeteksi gas), rele pengaman tekanan lebih, rele jensen, rele suhu, dan lain lain.

2.5 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan dukungan landasan teori yang diperoleh yang dijadikan konsep variabel penelitian, maka dapat disusun kerangka penelitian sebagai berikut:

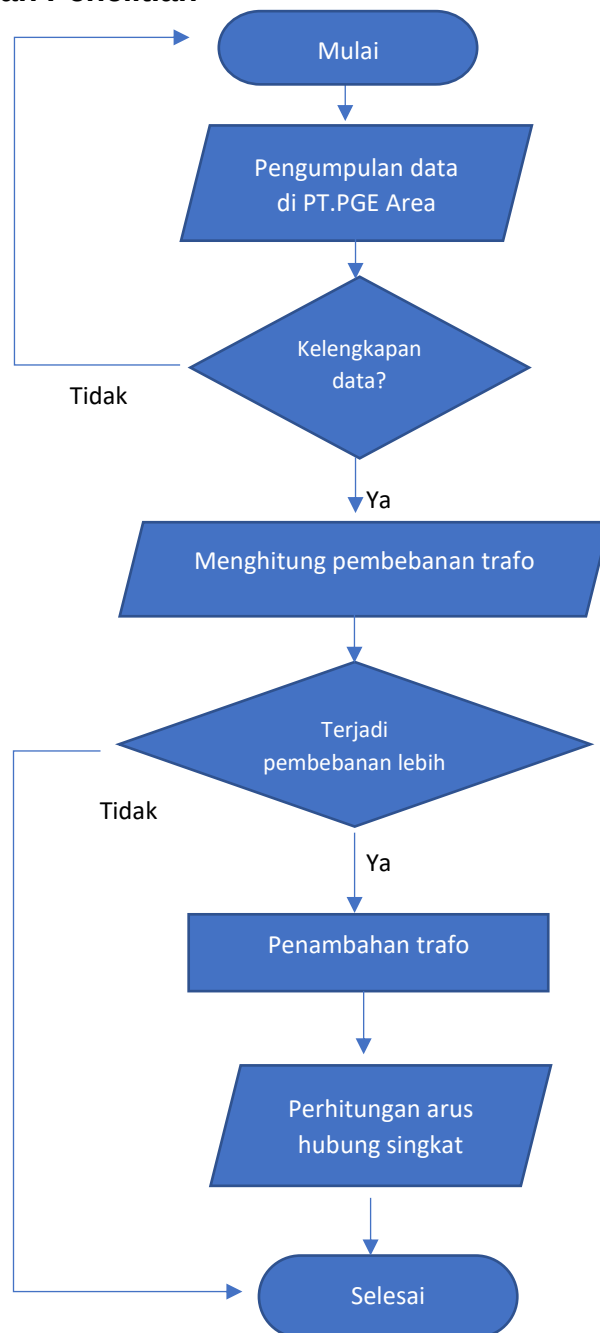


Gambar 2. 12 Alur kerangka Pemikiran

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Penelitian

3.2 Analisa Kebutuhan

Metode yang digunakan metode penelitian ini adalah metode *kuantitatif*. Hal ini karena data yang digunakan dalam penelitian ini dalam bentuk angka dari mulai pengumpulan data, pengolahan atau perhitungan data, hingga hasil yang di dapat juga dalam bentuk angka.

3.2.1 Variabel Penelitian

Variable penelitian merupakan objek penelitian atau yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Pada penelitian yang berjudul Studi Analisa Penggunaan Trafo Distribusi Untuk Memenuhi Kebutuhan Beban di Cluster A, B ,C,dan F di PLTP Ulubelu (2x55MW), terdapat dua macam variabel, yaitu :

1. *Variabel Independent*

Variabel independent adalah variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahan. *Variabel independent* dalam hal ini adalah penambahan beban pada *Cluster C* yaitu pompa motor 90 kW dan 2 unit kompresor 14 kW.

2. *Variabel Dependen*

Variabel dependen adalah variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat perubahan. Variabel dependen dalam penelitian ini adalah jumlah unit trafo dan kapasitas trafo untuk pemakain di *cluster A, B, C, D dan F*.

3.1.2 Teknik Pengumpulan Data

Untuk dapat menyelesaikan skripsi ini, di perlukan data data yang harus dikumpulkan pada saat melakukan penelitian di PT.Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu memperoleh data – data sebagai berikut :

1. Spesifikasi trafo yang akan di teliti informasi dari *name plate* trafo yaitu daya nominal, tegangan nominal belitan primer sekunder, rugi beban nol, rugi-rugi tembaga dan lain lain.
2. Data setiap beban yang terpasang pada trafo tersebut untuk di input kedalam Etap. Daya beban, *load factor, efisiensi*.

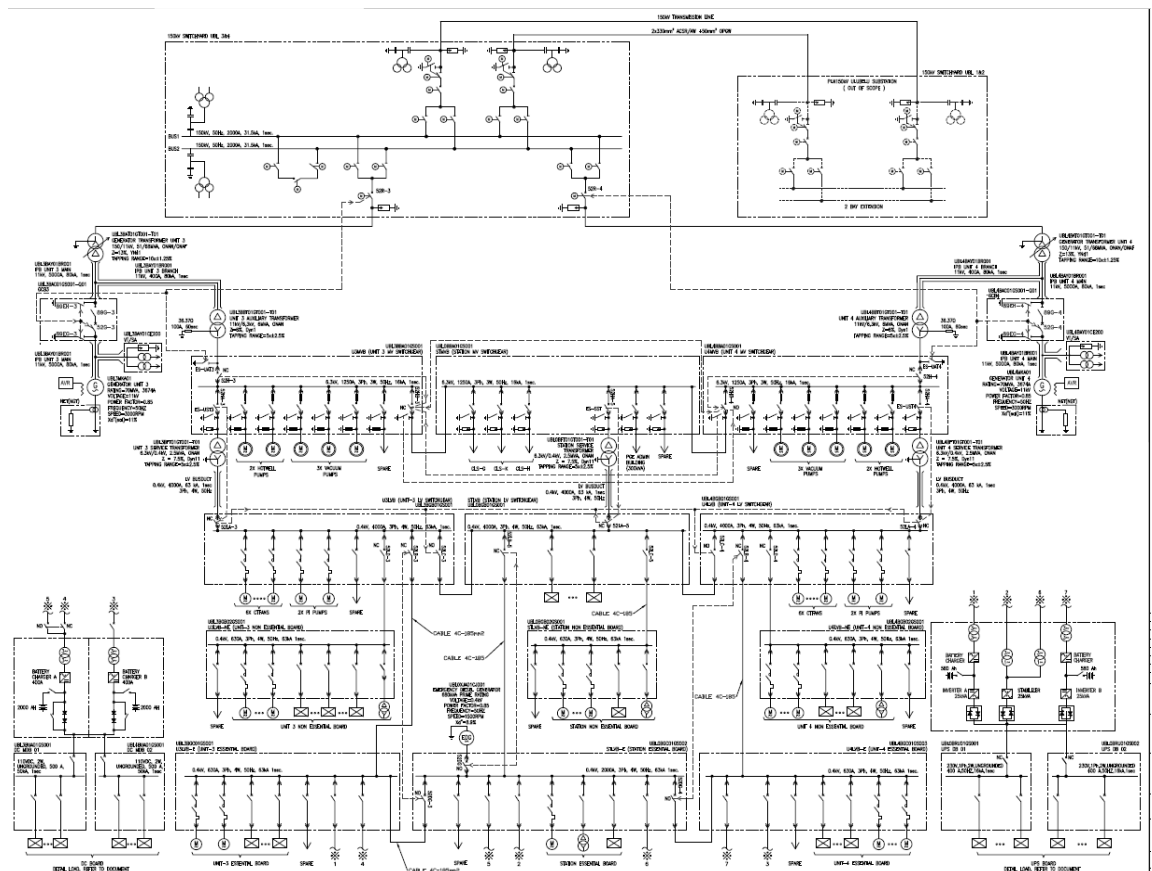
3.3 Permasalahan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini di lakukan beberapa tahapan yaitu:

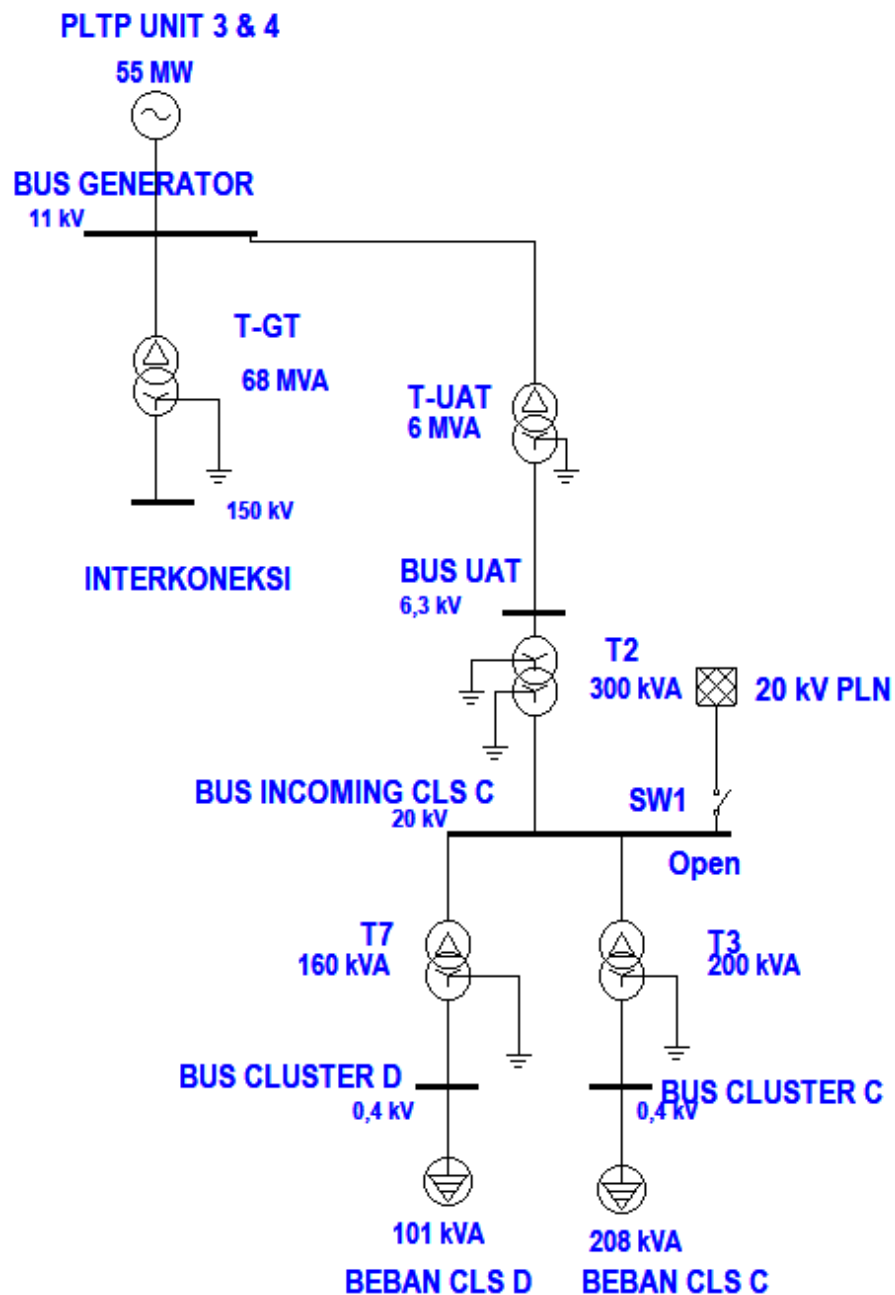
3.3.1 Sistem Kelistrikan PLTP Ulubelu

Sistem kelistrikan untuk pemakaian sendiri pada PLTP terdiri dari trafo tenaga penurun tegangan yang dilengkapi dengan sistem baterai dan *inverter* serta diesel generator untuk keperluan darurat. Sistem kelistrikan pemakaian sendiri skala besar biasanya menggunakan dua atau tiga transformator penurun tegangan untuk pemakaian sendirinya yaitu *Unit Service Transformer (UST)*, *Station Service Transformer (SST)* dan *Unit Auxilliary Transformer (UAT)*.

Pada PLTP UAT menggunakan trafo UAT dan SST sebagai suplai untuk beban pada unit bantu pembangkit. Sistem bantu pembangkit sendiri menggunakan dua sistem yaitu sistem bantu bertegangan 6,3 kV dan 0,4 kV.



Gambar 3. 2 Diagram Satu Garis PLTP Ulubelu



Gambar 3. 3 Diagram satu garis sistem pemakaian sendiri

PLTP Ulubelu memiliki 4 unit pembangkit. Unit 1-2 sebesar 2x55 MW milik PLN dan unit 3 – 4 sebesar 2x55 MW milik PGE. Unit 1 – 2 sudah beroperasi sejak tahun 2012, PGE dan PLN mempunyai peran nya masing-masing PGE sebagai pemilik sumur panas bumi, menyuplai uap sampai siap

untuk memutarakan turbin pada pembangkit unit 1–2 milik PLN. Dalam suplai uap dari perut bumi sampai ke pembangkit PGE membutuhkan motor-motor listrik untuk pengoprasiannya. S motor – motor tersebut di supai dari jaringan distribusi 20 kV PLN di turunkan ke 0,4 kV dengan membeli tarif listrik bisnis. Setelah pembangunan unit 3 – 4 milik PGE selesai pada tahun 2016 suplai pada *cluster c* di gantikan dari trafo *Unit Auxilliary Transformer (UAT)* milik pembangkit sehingga terjadi perubahan tegangan yang semula dari 20 kv ke 0,4 kv diubah ke 6,3 kV ke 20kv lalu di turunkan lagi ke 0,4 kv. Dengan menggunakan trafo distribusi. Dan terjadi pambahan motor 90 kw di tahun 2016 dan kompresor 14 kW di tahun 2018 mengakibatkan pembebanan pada trafo melebihi dari daya pengenalnya. Maka di perlukan studi analisa penyelesaian masalahnya. Agar keandalan listrik untuk kebutuhan penyaluran uap panas bumi dapat terjaga.

3.3.2 Objek Penelitian

Objek yang akan di teliti pada tugas akhir ini adalah trafo pada sistem kelistrikan yang ada di Cluster A, B, C, D, dan F pada pembangkit PLTP ulubelu.

3.3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilaksanan di PLTP Ulebelu Lampung.

2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukam pada 5 Februari 2018 sampai 5 Mei 2018

3.4 Teknik Analisis

3.4.1 Metode Newton Rhapson

Uraian deret taylor untuk suatu fungsi dua variabel atau lebih merupakan dasar metode Newton-Rhapson. Misalkan persamaan suatu fungsi dengan dua variabel X_1 dan X_2 yang sama dengan suatu konstanta K_1 yang di nyatakan sebagai :

$$f_1(x_1, x_2) = K_1 \dots\dots\dots 3.1$$

Dan persamaan kedua

$$f_2(x_1, x_2) = K_2 \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana K_1 dan K_2 adalah konstanta – konstanta.

Kemudian kita perkirakan jawaban ini sebagai $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$. Tanda-tanda (0) menunjukan bahwa nilai tersebut merupakan perkiraan awal. Kita dapat menetapkan pula bahwa $\Delta x_1^{(0)}$ dan $\Delta x_2^{(0)}$ merupakan nilai-nilai yang harus ditambahkan pada $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$ untuk mendapatkan penyelesaian yang tepat .sehingga persamaan dapat di tuliskan menjadi

$$K_1 = f_1(x_1, x_2) = f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}) \dots \dots \dots 3.3$$

$$K_2 = f_2(x_1, x_2) = f_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}) \dots \dots \dots 3.4$$

Dengan menguraikan persamaan diatas dalam deret Taylor, maka dapat mencari nilai $\Delta x_1^{(0)}$ dan $\Delta x_2^{(0)}$. Berikut adalah persamaanya :

$$K_1 = f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{(0)} + \dots \dots \dots 3.5$$

$$K_2 = f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_{(0)} + \dots \dots \dots 3.6$$

Dimana turunan parsial (*partial deritative*) dengan prde lebih dari satu dalam deret suku-suku uraian telah diabaikan. Suku $\left[\frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right]_{(0)}$ menunjukan bahwa turunan parsial di hitung untuk nilai-nilai $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$. Suku – suku lain semacam itu dihitung dengan cara yang sama. Kemudian persamaan diatas dapat di tulis dengan bentuk matriks menjadi :

$$\begin{bmatrix} K_1 & f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ K_2 & f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}_{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \dots \dots \dots 3.7$$

Matriks bujur sangkar diatas dinamakan matriks J “Jacobian” dimana variabel $j^{(0)}$ menunjukkan perkiraan pertama $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$ telah digunakan untuk menghitung nilai turunan parsial dalam angka. Jika kita tentukan $\Delta K_1^{(0)}$ sebagai nilai K_1 yang ditetapkan dikurangi nilai K_1 yang

di hitung. Dan mendefinisikan $\Delta K_2^{(0)}$ dengan cara yang sama, akan diperoleh :

$$\begin{bmatrix} \Delta K_1^{(0)} \\ \Delta K_2^{(0)} \end{bmatrix} = j^0 \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.8$$

Sehingga dengan mencari nilai inverse dari matrik jacobian, kita dapat menentukan $\Delta x_1^{(0)}$ dan $\Delta x_2^{(0)}$. Tetapi karena uraian deret telah dipotong penambahan nilai-nilai ini pada perkiraan pertama tidak memberikan jawaban yang benar dan kita harus mencoba memisahkan perkiraan yang baru $x_1^{(1)}$ dan $x_2^{(1)}$, dimana :

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} \dots\dots\dots 3.9$$

$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \dots\dots\dots 3.10$$

Selanjutnya ulangi proses itu sampai di dapatkan hasil nilai kesalahan yang sangat kecil, sehingga memenuhi persyaratan indeks ketelitian yang telah di pilih.

3.4.2 Penyelesaian aliran daya menggunakan metode newton-Rhapson

Penyelesaian aliran daya dengan metode *Newton – Rhapson* pada penyelesaian aliran beban kita dapat menyatakan tegangan rel dan admitansi dalam bentuk polar atau bentuk siku – siku. Misalnya kita menggunakan bentuk polar, maka kita dapat menguraikan persamaan berikut :

$$P_k - jQ_k = V_k * \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \dots\dots\dots 3.11$$

Ke dalam unsur nyata dan khayalnya, dimana

$$V_k = |V_k| \angle \delta_k, V_n = |V_n| \angle \delta_n, Y_{kn} = |Y_{kn}| \angle \theta_{kn} \dots\dots\dots 3.12$$

Menjadi

$$P_k - jQ_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \angle \theta_{kn} + \delta_n - \delta_k \dots\dots\dots 3.13$$

Dari persamaan diatas kita dapat uraikan menjadi

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \dots\dots\dots 3.14$$

Dan

$$Q_k = -\sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \dots\dots\dots 3.15$$

Seperti pada Gauss-seidel *swing bus* di abaikan dari penyelesaian iterasi dalam menentukan tegangan, sebab besar tegangan sudutnya telah di tentukan. Kita dapat menentukan nilai P dan Q, dimana nilai konstan P dan Q yang di tetapkan adalah sesuai dengan konstanta K. Nilai perkiraan besar dan sudut tegangan bersesuaian pula dengan nilai perkiraan X_1 dan X_2 mendefinisikan

$$\Delta P_k = P_{k,spec} - P_{k,calc} \dots\dots\dots 3.16$$

$$\Delta Q_k = Q_{k,spec} - Q_{k,calc} \dots\dots\dots 3.17$$

Yang bersesuaian denagan nilai Δk . Subskrip “spec” berarti yang di tetapkan (*specified*) dan “calc” yang di hitung (*calculated*).

Jacobian terdiri dari turunan parsial P dan Q terhadap masing masing variabel. Unsur-unsur matriks kolom $\Delta \delta_k^{(0)}$ dan $\Delta |V_k|^{(0)}$ untuk mendapatkan nilai baru bagi perhitungan $\Delta P_k^{(1)}$ dan $\Delta Q_k^{(1)}$.

Untuk penyederhanaan kita dapat tuliskan persamaan matriks untuk suatu sistem yang terdiri dari tiga buah bus. Jika bus 1 merupakan *swing bus*, maka perhitungan di mulai pada bus 2. Berikut adalah persamaan matriknya :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \dots \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_3|} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \dots \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.18$$

Unsur jacobian diperoleh dengan membuat turunan dari rumus untuk P_k dan Q_k dan memasukkan kedalam tegangan yang di perkirakan untuk iterasi pertama atau yang di perhitungkan dalam iterasi yang terdahulu dan terakhir. Untuk perhitungan pada sistem yang lebih banyak

dapat di selesaikan dengan mencari nilai inverse dari matriks jacobian. Nilai yang di dapatkan untuk $\Delta\delta_k$ dan $\Delta|V_k|$ di tambahkan nilai terdahulu dari besar dan sudut tegangan untuk mendapatkan nilai terdahulu dari besar dan sudut tegangan untuk mendapat nilai baru untuk $P_{k,calc}^{(1)}$ dan $Q_{k,calc}^{(1)}$ untuk memulai iterasi selanjutnya.

3.4.3 Melakukan perhitungan jumlah beban

Perhitungan jumlah beban yang terpasang untuk mengetahui total beban pada trafo saat ini dalam kVA. Untuk motor yang dengan satuan kW maka di gunakan rumus

$$[sin] = P / (\cos\phi \times eff) \dots\dots\dots 3.19$$

Dimana :

- Sin= Daya semu (kVA)
- P = Daya aktif (kW)
- Cos ϕ = faktor daya
- eff= efisiensi motor (%)

3.4.4 Menghitung Beban Non Motor

Untuk beban-beban yang dinyatakan dalam KVA output maka dapat di ketahui nilai kVA Menggunakan rumus :

$$[sin] = kVA \text{ out} / eff \dots\dots\dots 3.20$$

Dimana:

- S_{in} = Daya semu (kVA)
- kVA out = Daya semu *output*(kVA)
- eff = efisiensi motor (%)

3.4.5 Penentuan Kenaikan Temperatur

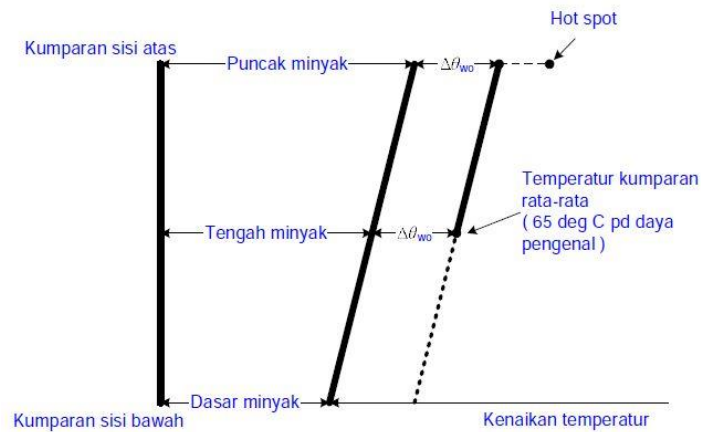
3.4.5.1 Pengasumsian Dengan *Diagram Thermal*

Kenaikan temperatur dapat diasumsikan dengan *diagram thermal* sederhana seperti ditunjukkan gambar 3.3. Kenaikkan temperatur *top oil* yang diukur selama pengujian kenaikan temperatur berbeda dengan minyak yang

meninggalkan kumparan. Minyak pada *top oil* adalah campuran sebagian dari minyak yang bersirkulasi pada sepanjang kumparan. Tetapi perbedaan ini tidak dipertimbangkan dengan cukup signifikan untuk memvalidasi metode.

Metode ini disederhanakan sebagai asumsi yang telah dibuat sebagai berikut:

- 1) Temperatur minyak bertambah secara linear sesuai kumparan
- 2) Kenaikkan temperatur rata-rata minyak adalah sama untuk semua kumparan dari kolom yang sama.
- 3) Perbedaan temperatur antara minyak pada puncak kumparan (asumsinya sepadan dengan yang di puncak) dan minyak yang berada di dasar kumparan (asumsinya sepadan dengan yang di pendingin) adalah sama untuk semua bagian kumparan.
- 4) Kenaikkan temperatur rata-rata dari tembaga pada setiap posisi di atas kumparan meningkat secara linear sejalan kenaikan temperature minyak yang mempunyai selisih kosten $\Delta\theta_{wo}$ antara dua garis lurus ($\Delta\theta_{wo}$ adalah selisih antara kenaikan temperatur rata-rata tahanan dan kenaikan temperatur rata-rata minyak).
- 5) Kenaikkan temperatur rata-rata puncak kumparan adalah kenaikan temperatur rata-rata minyak ditambah $\Delta\theta_{wo}$.
- 6) Kenaikkan temperatur *hot spot* adalah lebih tinggi dibanding kenaikan temperatur rata-rata puncak kumparan. Untuk menghitung perbedaan antara kedua kenaikan temperatur ini, nilai $\Delta\theta_{wo}$ diasumsikan 0,1 untuk sirkulasi minyak secara alami. Sehingga kenaikan temperatur *hot spot* adalah sepadan dengan kenaikan temperatur *top oil* ditambah $1.1 \Delta\theta_{wo}$.



*Sumber:SPLN 17 (1972)

Gambar 3.4 Diagram thermal

3.4.5.2 Kondisi Untuk Nilai Daya Tertentu

a. Sirkulasi Minyak Alami

Kenaikkan temperatur rata-rata kumparan (diukur dengan tahanan) = 65 °C, kenaikkan temperatur *top oil* ($\Delta\theta_{br}$) = 55 °C, kenaikkan temperatur rata-rata minyak = 44 °C. Perbedaan antara kenaikkan temperatur rata-rata kumparan dan kenaikkan rata-rata temperatur minyak $\Delta\theta_{wo}$ = 21 °C Kenaikkan temperatur *hot spot* ($\Delta\theta_{cr}$) disusun sebagai berikut[3]:

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{cr} &= \Delta\theta_{br} + 1,1 \Delta\theta_{wo} \dots\dots\dots 3.21 \\ &= 55^{\circ}\text{C} + 1,1(21^{\circ}\text{C}) \\ &= 55^{\circ}\text{C} + 23^{\circ}\text{C} \\ &= 78^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Dengan:

$\Delta\theta_{cr}$: Kenaikkan temperatur *hot spot* (°C)

$\Delta\theta_{br}$: kenaikkan temperatur *top oil* (°C)

$\Delta\theta_{wo}$: Perbedaan antara kenaikkan temperatur rata-rata kumparan dan kenaikkan rata-rata temperatur minyak (°C)

b. Sirkulasi Minyak Paksaan

Perbedaan kenaikan temperatur minyak antara *inlet* dan *outlet* akan terjadi, pada umumnya lebih kecil dibanding dengan sirkulasi minyak secara alami. Dengan 65 °C kenaikan temperatur yang terukur oleh tahanan, kenaikan temperatur *hot spot* mungkin tidak melebihi 75 °C Bagaimanapun juga hal ini diperlukan untuk margin yang sama, yang masih diperbolehkan 13 °C di atas kenaikan temperatur rata-rata kumparan 65 °C, untuk mencapai kenaikan temperatur *hot spot* pada nilai daya tertentu.

Pada umumnya kerapatan arus kerja yang digunakan lebih tinggi dibandingkan dengan sirkulasi minyak alami dan lebih ekonomis untuk memperoleh kenaikan temperatur rata-rata minyak dan nilai yang lebih tinggi dari $\Delta\theta_{wo}$. Oleh karenanya, kenaikan temperatur *top oil* dari 55 °C dan kenaikan temperatur *hot spot* 78 °C pada nilai daya tertentu telah diasumsikan sebagai kondisi yang lebih sederhana.

Kenaikan temperatur *hot spot* ($\Delta\theta_{cr}$) disusun sebagai berikut[3]:

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{cr} &= \Delta\theta_{br} + (\theta_{cr} - \theta_b) \dots\dots\dots 3.22 \\ &= 55\text{ }^{\circ}\text{C} + (78\text{ }^{\circ}\text{C} - 55\text{ }^{\circ}\text{C}) \\ &= 55\text{ }^{\circ}\text{C} + 23\text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 78\text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Dengan: θ_b : temperatur top oil, dalam derajat celsius

θ_{cr} : temperatur *hot spot*, dalam derajat Celsius

3.4.5.3 Kondisi Untuk Beban Stabil

a. Kenaikan Temperatur Top oil

Kenaikan temperatur ini sepadan dengan kenaikan temperatur *top oil* pada nilai daya yang dikalikan *ratio* dari total kerugian dengan eksponen x [3].

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right)^x \dots\dots\dots 3.24$$

Keterangan :

d = perbandingan rugi

$$= \frac{\text{Rugi tembaga pada daya pengenalan}}{\text{Rugi beban nol}}$$

x = konstanta

$x = 0,9$ (ONAN dan ONAF)*

$x = 1,0$ (OFAP dan OFWF)

$\Delta\theta_{br}$ = suhu

Untuk $\Delta\theta_{br} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk Oil Natural (ON), dan $\Delta\theta_{br} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk Oil Force (OF).

* Spesifikasi publikasi **IEC 76 (1967)**, karena mengikuti tabel tunggal yang diatur untuk digunakan pada kedua jenis pendinginan dengan kesalahan yang tidak lebih dari $\pm 2\%$.

Nilai d secara relatif tidak penting pada beban tinggi, hanya memberikan secara garis besar tinggi atau rendahnya kenaikan temperatur. Lebih dari itu hal ini dikompensasi untuk seberapa besar korespondensinya dengan naik atau turunnya temperatur minyak pada beban rendah.

b. Kenaikkan Temperatur *Hot spot*

Kenaikkan temperatur *hot spot* $\Delta\theta_c$ untuk beban yang stabil dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [3]:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})K^{2y} \dots\dots\dots 3.25$$

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right) + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

Keterangan:

$\Delta\theta_{cr}$ = 78 $^{\circ}\text{C}$

y = konstanta

y = 0,9 (ONAN dan ONAF)*

y = 1,0 (OFAP dan OFWF)

$\Delta\theta_{br}$ = suhu

*Nilai $\Delta\theta_{br} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk ON, dan $\Delta\theta_{br} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk OF.

3.4.5.4 Kondisi Untuk Beban Yang Berubah-ubah

a. Kenaikkan Temperatur Top oil

Kenaikkan temperatur *top oil on* pada waktu t setelah pemberian beban adalah sangat mendekati untuk kenaikan eksponensial sebagai berikut [3]:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)})(1 - e^{-t/\tau}) \dots\dots\dots 3.26$$

Dengan:

$\Delta\theta_{o(n-1)}$:Kenaikkan temperatur awal minyak.

$\Delta\theta_b$:Adalah kenaikan temperatur akhir minyak yang telah distabilkan, berhubungan dengan beban seperti dihitung dalam sub bab sebelumnya.

τ : kontanta waktu minyak dalam jam

τ =3 (ONAN dan ONAF)

τ = 2 (OFAN dan OFAF)

t : waktu dalam jam

b. Kenaikkan Temperatur Hot spot

Kenaikkan temperatur *hot spot* pada waktu tertentu sebelum kondisi distabilkan adalah mendekati perkiraan dengan asumsi bahwa kenaikan temperatur *hot spot* di atas adalah kenaikan temperatur *top oil* yang terbentuk dengan seketika.

Kenaikkan temperatur *hot spot* pada waktu tertentu sama dengan [3]:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})K^{2y} \dots\dots\dots 3.27$$

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right) + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

Tabel 3. 1 Lamanya temperatur yang diperbolehkan beroperasi

θ_c .(°C)	Jam per hari (jam)
98	24
101.5	16
104	12
107.5	8
110	6
113.5	4
116	3
119.5	2
122	1.5
125.5	1.0
128	0.75
131.5	0.5

3.4.6 Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat untuk mengetahui perubahan sebelum dan sesudah penambahan trafo

$$I_{f3\phi} = \frac{E_a}{Z_1} \dots\dots\dots 3.28$$

$$E_a = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$Z_1 = \text{impedansi urutan positif}$$

Dimana :

$I_{f3\phi}$ = Arus hubung singkat 3 phasa

Z_1 = Impedansi urutan positif

V = tegangan pengenalan

Perhitungan arus hubung singkat 2 fasa ke tanah

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan transformator distribusi sebagai objek penelitian yang di simulasikan menggunakan aplikasi pendekatan berikut ini data – data dari objek yang diamati :

4.1.1 Data Transformator distribusi 1

1. Kode Peralatan : 1&2–C–TR–01
2. Merk : Trafoindo
3. Phasa : 3
4. Frekuensi : 50 Hz
5. Rated : 200 kVA
6. Tegangan Primer : 20 kV
7. Tegangan skunder : 400 V
8. Arus max Pimer : 5.77 A
9. Arus max sekunder: 288.67 A
10. Impedansi : 4 %
11. Koneksi : Dyn – 11
12. Tahun pembuatan : 2011

4.1.2 Data Transformator Distribusi 2

1. Kode Peralatan : 1&2–D–TR–01
2. Merk : Trafoindo
3. Phasa : 3
4. Frekuensi : 50 Hz
5. Rated : 160 kVA
6. Tegangan Primer : 20 kV
7. Tegangan skunder : 400 V
8. Arus max Pimer : 4.61 A
9. Arus max sekunder: 230.94 A

10. Impedansi : 4 %
11. Koneksi : Dyn – 11
12. Tahun pembuatan : 2011

4.1.3 Data Transformator Distribusi 3

- 1.Kode Peralatan : 1&2–C–TR–02
- 2.Merk : Trafoindo
- 3.Phasa : 3
- 4.Frekunsi : 50 Hz
5. Kapasitas : 300 kVA
6. Tegangan Primer : 6.3 kV
7. Tegangan Skunder : 20 kV
- 8.Arus Max Primer : 27.49 A
9. Arus Max skunder : 8.66 A
10. Impedansi : 4 %
11. Koneksi : YNy0
12. Tahun Pembuatan : 2017

4.1.4 Data Beban yang terpasang pada trafo 1

Beban trafo 1 ini meliputi beban pada kluster A,B dan C beban tersebut di gunakan untuk sisitem operasional Pembangkit.

Tabel 4. 1 Beban Trafo 1 pada Kluster C

No.	Beban	ID	Rated Load			
			kVA	kW	eff	Load factor
1	UPS (NORMAL)	C-UPS-01	10		0.99	0.94
2	UPS (BY PASS)	C-UPS-02	10		0.99	0.94
3	LIGHTING PANEL CR	C-LP-01	27,41		0.99	0.80
4	LIGHTING PANEL MCCR	C-LP-02	18,08		0.99	0.80
5	LIGHTING PANEL CCRA	C-LP-03	2,94		0.99	0.80
6	BRINE PUMP MOTOR	C-M-01		55	0.90	0.84
7	MOV	C-MOV-01		1,67	0.58	0.46

No.	Beban	ID	Rated Load			
			kVA	kW	eff	Load factor
8	AIR COMPRESOR PANEL 1	C-COMP-01		14	0.99	0.94
9	AIR COMPRESOR PANEL 2	C-COMP-02		14	0.99	0.94
10	POWER RECEPTACLE	C-PRCT-01		11	0.99	0.94
11	INJECTION PUMP	C-PUMP-1		90	0.90	0.84

Tabel 4. 2 Beban Trafo 1 Pada Kluster A

No.	Beban	ID	Rated Load			
			Kva	kW	Eff	Load factor
1	UPS (NORMAL)	A-UPS-01	2,5		0.99	0.94
2	UPS (BY PASS)	A-UPS-02	2,5		0.99	0.94
3	LIGHTING PANEL	A-LP-01	9,03		0.99	0.80
4	MOV 1	A-MOV-01		1,67	0.58	0.46
5	MOV 2	A-MOV-02		1,67	0.58	0.46

Tabel 4. 3 Beban Trafo 1 Pada Kluster B

No.	Beban	ID	Rated Load			
			kVA	kW	Eff	Load factor
1	UPS (NORMAL)	B-UPS-01	2,5		0.99	0.94
2	UPS (BY PASS)	B-UPS-02	2,5		0.99	0.94
3	LIGHTING PANEL	B-LP-01	2,5		0.99	0.94
4	MOV 1	B-MOV-01		1,67	0.58	0.43

4.1.5 Data Beban yang terpasang pada trafo 2

Beban pada trafo 2 ini meliputi beban Kluster D dan Kluster. Beban-beban tersebut di pergunakan untuk melayani proses operasional pembangkit.

Tabel 4. 4 Beban Trafo 2 Pada Kluster D

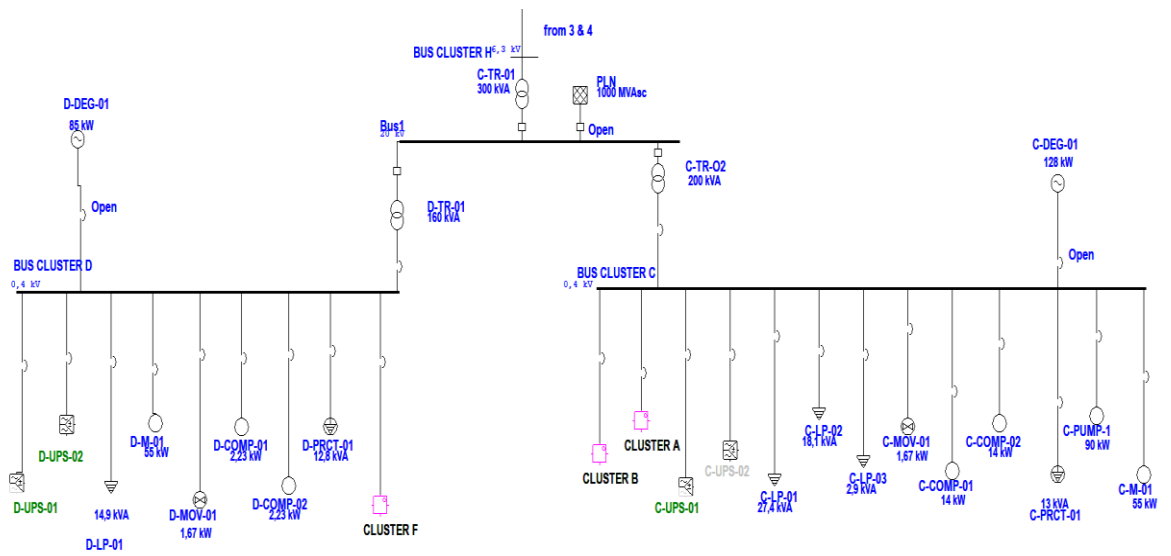
No.	Beban	ID	Rated Load			
			kVA	kW	eff	Load factor
1	UPS (NORMAL)	D-UPS-01	5		0.99	0.94
2	UPS (BY PASS)	D-UPS-02	5		0.99	0.94
3	LIGHTING PANEL	D-LP-01	14,928		0.99	0.80
4	BRINE PUMP MOTOR	D-M-01		55	0.84	0.84
5	MOV	D-MOV-01		1,67	0.58	0.46
6	AIR COMPRESOR PANEL 1	D-COMP-01		2,23	0.99	0.94
7	AIR COMPRESOR PANEL 2	D-COMP-02		2,23	0.99	0.94
8	POWER RECEPTACLE	D-PRCT-1		11	0.99	0.94

Tabel 4. 5 Beban Trafo 2 Pada Kluster F

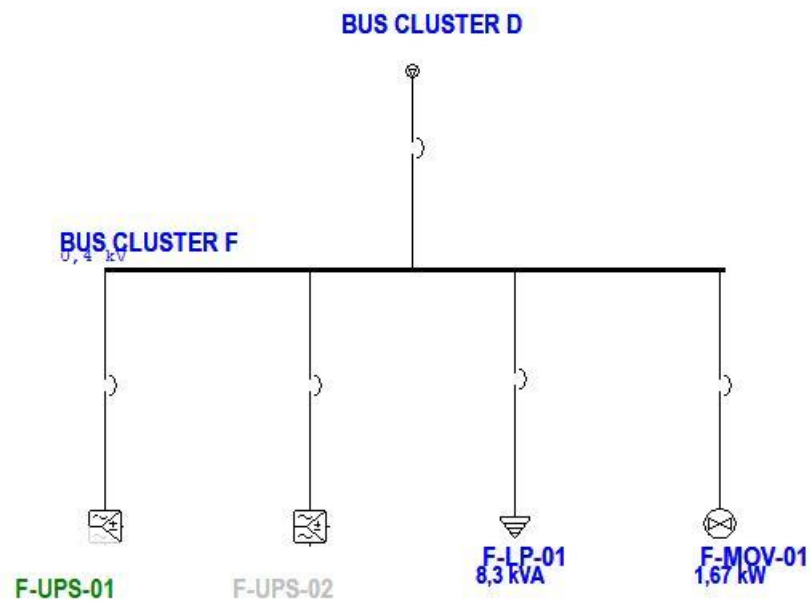
No	Beban	ID	Rated Load			
			kVA	kW	Eff	Load Factor
1	UPS (NORMAL)	F-UPS-01	2,5		0.99	0.94
2	UPS (BY PASS)	F-UPS-02	2,5		0.99	0.94
3	LIGHTING PANEL	F-LP-01	8,25		0.99	0.80
4	MOV 1	F-MOV-01		1,67	0.58	0.46

4.1.6 Beban yang Terpasang pada Trafo 3

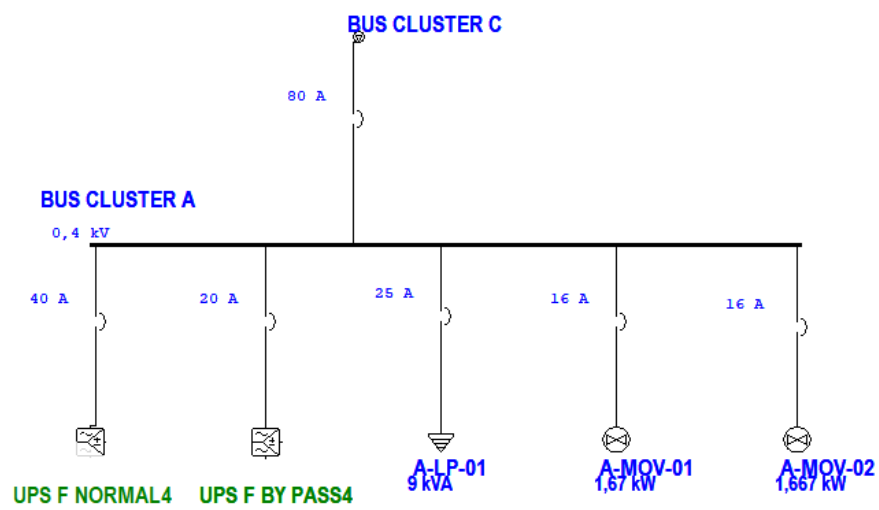
Pada trafo 3 ini beban yang terpasang adalah trafo 1 dan trafo 2 yang di hubungkan dari busbar Kluster H seperti gambar di bawah ini. sebelum adanya trafo 3, trafo 1 dan 2 di suplai oleh jaringan distribusi PLN.



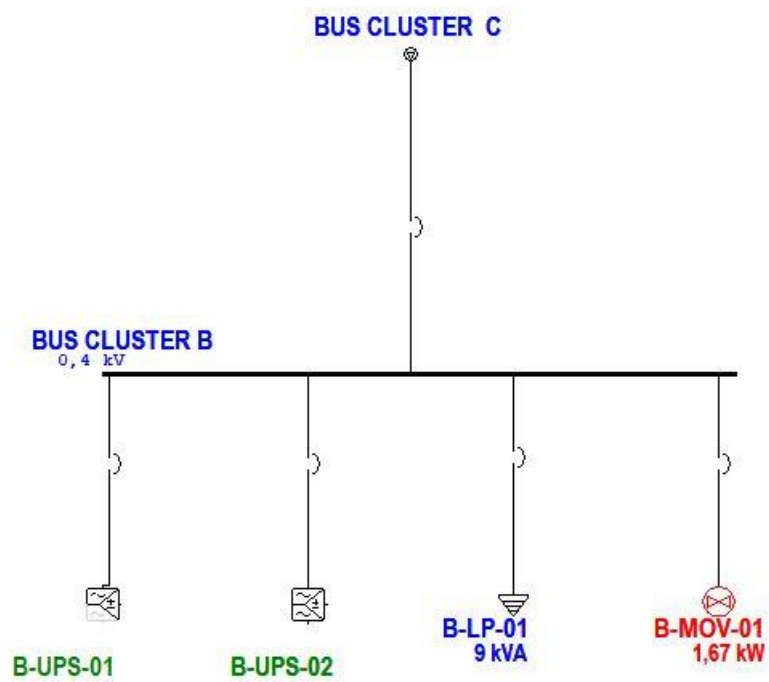
Gambar 4. 1 Single Line Diagram pada *Cluster C dan D*



Gambar 4. 2 Diagram satu garis *Cluster f*



Gambar 4. 3 Diagram satu garis *Cluster A*



Gambar 4. 4 Diagram satu garis *Cluster B*

4.2 Pembahasan Perhitungan pembebanan trafo

Dalam perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pembebanan trafo saat ini.

Langkah – langkah perhitungannya yaitu dengan menggunakan aplikasi teknik dengan memasukkan beban-beban tersebut dan kapasitas trafo terpasang. Setelah memasukkan parameter beban dan trafo ke aplikasi tersebut dilakukan running aliran daya atau *load flow* untuk mengetahui seberapa besar daya yang di serap oleh beban tersebut. Dalam aliran daya ini kenal swing bus dan load bus pada percobaan ini swing bus pada grid dan load bus nya adalah pada kluster kluster tersebut.

4.2.1 Simulasi Pembebanan

Pada Simulasi dilakukan 3 kondisi menggunakan ETAP untuk mengetahui besarnya jumlah pembebanan pada trafo.

1. Kondisi 1

Pada kondisi 1 ini beban beban yang aktif adalah beban-beban *continous* pada tabel di tandai dengan huruf “C”. Dari hasil perhitungan kondisi 1 di dapatkan dari hasil *running* aliran daya pada aplikasi didapatkan tabel daya sebagai berikut :

Tabel 4. 6 hasil dari Beban Pada kondisi 1

ID BEBAN	Terminal Bus	Tipe beban	Rating	Tegangan terbaca V	kW	kVAR	kVA
B-LP-01	BUS CLUSTER B	C	9 kVA	396.4	6,03	3,737	7,09
B-MOV-01	BUS CLUSTER B	I	1.6 kW	396.4	0	0	0
C-COMP-01	BUS CLUSTER C	C	14 kW	396.4	13,152	9,864	16,44
C-COMP-02	BUS CLUSTER C	E	14 kW	396.4	0	0	0
C-M-01	BUS CLUSTER C	I	55 kW	396.4	0	0	0
C-MOV-01	BUS CLUSTER C	I	1,6 kW	396.4	0	0	0
C-PRCT-01	BUS CLUSTER C	C	13 kVA	396.4	8,211	6,159	10,26
C-PUMP-1	BUS CLUSTER C	E	90 kW	396.4	0	0	0
D-COMP-01	BUS CLUSTER D	C	2,23 kW	399.5	2,329	1,443	2,73
D-COMP-02	BUS CLUSTER D	E	2,23 kW	399.5	0	0	0
D-LP-01	BUS CLUSTER D	C	14,9 kVA	399.5	10,101	6,26	11,88
D-M-01	BUS CLUSTER D	I	55 kW	399.5	0	0	0
D-MOV-01	BUS CLUSTER D	I	1,6 kW	399.5	0	0	0
D-PRCT-1	BUS CLUSTER D	C	12,8 kVA	399.5	10,183	6,311	11,98
C-LP-01	BUS CLUSTER C	C	27,4 kVA	396.4	17,79	12,136	21,53
C-LP-02	BUS CLUSTER C	C	18,1 kVA	396.4	11,364	8,523	14,20
C-LP-03	BUS CLUSTER C	C	2,9 kVA	396.4	1,848	1,386	2,31
A-LP-01	BUS CLUSTER A	C	9 kVA	396.4	6,03	3,737	7,09

ID BEBAN	Terminal Bus	Tipe beban	Rating	Tegangan terbaca V	kW	kVAR	kVA
A-MOV-01	BUS CLUSTER A	I	1,6 kW	396.4	0	0	0
A-MOV-02	BUS CLUSTER A	I	1,6 kW	396.4	0	0	0
F-LP-01	BUS CLUSTER F	C	8,3 kVA	399.5	5,583	3,46	6,56
F-MOV-01	BUS CLUSTER F	I	1,6 kW	399.5	0	0	0
A-UPS-01	BUS CLUSTER A	C	2,5 kVA	396.4	2	0	2
A-UPS-02	BUS CLUSTER A	E	2,5 kVA	396.4	0	0	0
B-UPS-01	BUS CLUSTER B	C	2,5 kVA	396.4	2	0	2
B-UPS-02	BUS CLUSTER B	E	2,5 kVA	396.4	0	0	0
C-UPS-01	BUS CLUSTER C	C	10 kVA	396.4	9	0	9
C-UPS-02	BUS CLUSTER C	E	10 kVA	396.4	0	0	0
D-UPS-01	BUS CLUSTER D	C	5 kVA	399.5	5	0	5
D-UPS-02	BUS CLUSTER D	E	5 kVA	399.5	0	0	0
F-UPS-01	BUS CLUSTER F	C	2,5 kVA	399.5	2	0	2
F-UPS-02	BUS CLUSTER F	E	2,5 kVA	399.5	0	0	0

Tabel 4. 7 Kondisi trafo pada simulasi pembebanan kondisi 1

ID trafo	Kapasitas	Pembebanan %	Pembebanan (kVA)
D-TR-01	160 kVA	24,7	39,5
C-TR-01	300 kVA	44,4	134,8
C-TR-02	200 kVA	45,9	91,9

Pada simulasi pembebanan kondisi 1 didapatkan hasil persentase pembebanan trafo terhadap nilai kVA kapasitas trafo. Dan terjadi jatuh tegangan sebesar 0,9 %

2. Kondisi 2

Pada kondisi 2 ini beban beban yang aktif adalah beban-beban *continous+ intermitten* pada tabel di tandai "C dan I". Dari hasil perhitungan dari kondisi 2 di dapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 8 hasil Daftar Beban kondisi 2

ID BEBAN	Terminal Bus	Tipe Beban	Rating	Tegangan terbaca V	kW	kvar	kVA
B-LP-01	BUS CLUSTER B	C	9 kVA	384.7	5,68	3,52	6,68
B-MOV-01	BUS CLUSTER B	I	1.6 kW	384.7	1,44	0,97	1,74
C-COMP-01	BUS CLUSTER C	C	14 kW	384.7	13,15	9,86	16,44
C-COMP-02	BUS CLUSTER C	E	14 kW	384.7	0	0	0
C-M-01	BUS CLUSTER C	I	55 kW	384.7	45,22	33,917	56,52
C-MOV-01	BUS CLUSTER C	I	1,6 kW	384.7	1,091	0,734	1,31
C-PRCT-01	BUS CLUSTER C	C	13 kVA	384.7	7,76	5,823	9,70

ID BEBAN	Terminal Bus	Tipe Beban	Rating	Tegangan terbaca V	kW	kvar	kVA
C-PUMP-1	BUS CLUSTER C	E	90 kW	384.7	0	0	0
D-COMP-01	BUS CLUSTER D	C	2,23 kW	386.5	2,329	1,443	2,739
D-COMP-02	BUS CLUSTER D	E	2,23 kW	386.5	0	0	0
D-LP-01	BUS CLUSTER D	C	14,9 kVA	386.5	9,47	5,872	11,14
D-M-01	BUS CLUSTER D	I	55 kW	386.5	45,22	33,91	56,52
D-MOV-01	BUS CLUSTER D	I	1,6 kW	386.5	1,08	0,76	1,32
D-PRCT-01	BUS CLUSTER D	C	12,8 kVA	386.5	9,59	5,94	11,28
F-LP-01	BUS CLUSTER F	C	8,3 kVA	386.5	5,23	3,24	6,16
C-LP-01	BUS CLUSTER C	C	27,4 kVA	384.7	16,75	11,43	20,28
C-LP-02	BUS CLUSTER C	C	18,1 kVA	384.7	10,70	8,02	13,38
C-LP-03	BUS CLUSTER C	C	2,9 kVA	384.7	1,74	1,30	2,17
A-LP-01	BUS CLUSTER A	C	9 kVA	384.7	5,68	3,52	6,68
A-MOV-01	BUS CLUSTER A	I	1,6 kW	384.7	1,48	0,99	1,78
A-MOV-02	BUS CLUSTER A	I	1,6 kW	384.7	1,47	0,99	1,78
F-MOV-01	BUS CLUSTER F	I	1,6 kW	386.5	1,14	0,67	1,32
A-UPS-01	BUS CLUSTER A	C	2,5 kVA	384.7	2	0	2
A-UPS-02	BUS CLUSTER A	E	2,5 kVA	384.7	0	0	0
B-UPS-01	BUS CLUSTER B	C	2,5 kVA	384.7	2	0	2
B-UPS-02	BUS CLUSTER B	E	2,5 kVA	384.7	0	0	0
C-UPS-01	BUS CLUSTER C	C	10 kVA	384.7	9	0	9
C-UPS-02	BUS CLUSTER C	E	10 kVA	384.7	0	0	0
D-UPS-01	BUS CLUSTER D	C	5 kVA	386.5	5	0	5
D-UPS-02	BUS CLUSTER D	E	5 kVA	386.5	0	0	0
F-UPS-01	BUS CLUSTER F	C	2,5 kVA	386.5	2	0	2
F-UPS-02	BUS CLUSTER F	E	2,5 kVA	386.5	0	0	0

Tabel 4. 9 Kondisi trafo pada beban *continuous + intermittent* yang aktif

ID TRAF0	Kapasitas	Pembebanan %	Pembebanan kVA
D-TR-01	160 kVA	61,6	98,56
C-TR-01	300 kVA	86,72	261,6
C-TR-02	200 kVA	77,3	154,6

Pada kondisi 2 ini di dapatkan nilai pembebanan dalam kVA dan persentase pada trafo. Jatuh tegangan akibat penambahan beban terjadi sebesar 0,96 %.

3. Kondisi 3

Pada kondisi 3 ini beban beban yang aktif adalah beban-beban *continous+ intermitten+emergency*. Dari hasil perhitungan dari kondisi 3 di dapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Daftar Beban kondisi 3

ID Beban	Terminal Bus	Tipe Beban	Rating	Tegangan terbaca V	kW	kVAR	kVA
B-LP-01	BUS CLUSTER B	C	9 kVA	377,1	5,457	3,382	6,42
B-MOV-01	BUS CLUSTER B	I	1,6 kW	377,1	1,389	0,935	1,67
C-COMP-01	BUS CLUSTER C	C	14 kW	377,1	13,152	9,864	16,44
C-COMP-02	BUS CLUSTER C	E	14 kW	377,1	13,152	9,864	16,61
C-M-01	BUS CLUSTER C	I	55 kW	377,1	0	0	0
C-MOV-01	BUS CLUSTER C	I	1,6 kW	377,1	1,048	0,705	1,26
C-PRCT-01	BUS CLUSTER C	C	13 kVA	377,1	7,478	5,609	9,34
C-PUMP-1	BUS CLUSTER C	E	90 kW	377,1	74	55,5	92,5
D-COMP-01	BUS CLUSTER D	C	2,23 kW	383	2,32	1,44	2,73
D-COMP-02	BUS CLUSTER D	E	2,23 kW	383	2,329	1,443	2,73
D-LP-01	BUS CLUSTER D	C	14,9 kVA	383	9,304	5,766	10,94
D-M-01	BUS CLUSTER D	I	55 kW	383	45,22	33,91	56,52
D-MOV-01	BUS CLUSTER D	I	1,6 kW	383	1,06	0,7	1,30
D-PRCT-1	BUS CLUSTER D	C	12,8 kVA	383	9,42	5,84	11,09
F-LP-01	BUS CLUSTER F	C	8,3 kVA	383	5,14	3,18	6,05
C-LP-01	BUS CLUSTER C	C	27,4 kVA	377,1	16,09	10,98	19,48
C-LP-02	BUS CLUSTER C	C	18,1 kVA	377,1	10,28	7,71	12,85
C-LP-03	BUS CLUSTER C	C	2,9 kVA	377,1	1,67	1,25	2,09
A-LP-01	BUS CLUSTER A	C	9 kVA	377,1	5,45	3,38	6,42
A-MOV-01	BUS CLUSTER A	I	1,6 kW	377,1	1,42	0,95	1,71
A-MOV-02	BUS CLUSTER A	I	1,6 kW	377,1	1,42	0,95	1,71
F-MOV-011	BUS CLUSTER F	I	1,6 kW	383	1,11	0,66	1,30
A-UPS-01	BUS CLUSTER A	C	2,5 kVA	377,1	2	0	2
A-UPS-02	BUS CLUSTER A	E	2,5 kVA	377,1	0	0	0
B-UPS-01	BUS CLUSTER B	C	2,5 kVA	377,1	2	0	2
B-UPS-02	BUS CLUSTER B	E	2,5 kVA	377,1	0	0	0
C-UPS-01	BUS CLUSTER C	C	10 kVA	377,1	9	0	9
C-UPS-02	BUS CLUSTER C	E	10 kVA	377,1	0	0	0
D-UPS-01	BUS CLUSTER D	C	5 kVA	383	5	0	5
D-UPS-02	BUS CLUSTER D	E	5 kVA	383	0	0	0
F-UPS-01	BUS CLUSTER F	C	2,5 kVA	383	2	0	2
F-UPS-02	BUS CLUSTER F	E	2,5 kVA	383	0	0	0

Catatan : Pada kondisi ini motor C-M-01 tidak dapat bekerja apabila C-PUMP-1 sedang aktif karena menggunakan pipa pembuangan yang sama.

Pada kondisi 3 ini semua beban hidup atau di anggap sebagai beban puncak, didapat jatuh tegangan sebesar 0,94 % pada Busbar Cluster C dan dan Cluster D sebesar 0,95 %.

Tabel 4. 11 Kondisi trafo pada beban *continuous + intermittent + emergency* yang aktif

ID Trafo	Rating 2	% Loading	kva
D-TR-01	160 kVA	63,1	100,96

C-TR-01	300 kVA	107,5	322,5
C-TR-O2	200 kVA	104,3	208,6

Tabel 4. 12 perbandingan pembebanan kondisi 1, 2 dan 3

ID Trafo	Kapasitas	kondisi 1		kondisi 2		kondisi 3	
		Persentase	Kva	Persentase %	kva	Persentase %	kva
D-TR-01	160 kVA	24,7%	39,5	61,6%	98,56	63,1%	100,96
C-TR-01	300 kVA	44,4%	134,8	86,72%	261,6	107,5%	322,5
C-TR-O2	200 kVA	45,9%	91,9	77,3%	154,6	104,2%	208,6

Catatan C-TR-01 dan C-TR-O2 sudah melewati batas nilai pembebanan.

Dari ketiga percobaan tersebut di dapatkan hasil bahwa pada kondisi 3 nilai pembebanannya melewati nilai rating trafo untuk C-TR-01 sebesar 107,5 % dan trafo C-TR-O2 terbebani sebesar 104,3% apabila ini di biarkan maka akan mengakibatkan panas bagi trafo yang menjadikan susut umur trafo menjadi lebih cepat.

4.2.2 Perhitungan Kenaikan Suhu Hotspot trafo Dalam Beban Penuh

Dalam IEC 354 Pembebanan Trafo di atas nilai pengenalnya maka akan menyebabkan suhu hot spot pada trafo naik yang nantinya akan menjadi acuan seberapa lama trafo boleh di ijinan bekerja diatas nilai kapasitasnya. Dengan cara berikut ini :

- Menentukan *ratio* pembebanan (K)

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{107,5\%}{100\%} \\
&= 1,075 \text{ p.u}
\end{aligned}$$

- b. Menentukan perbandingan rugi (d)

$$\begin{aligned}
d &= \frac{\text{Rugi tembaga pada daya pengenal}}{\text{Rugi beban nol}} \\
&= \frac{6 \text{ kW}}{3 \text{ kW}} \\
&= 8
\end{aligned}$$

- c. Menentukan kenaikan temperatur stabil *top oil* (**IEC 354 tahun 1972**)

$$\begin{aligned}
\Delta\theta_b &= \Delta\theta_{br} \left[\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right]^x \\
&= 55 \text{ }^\circ\text{C} \left[\frac{1 + 8 (1,075^2)}{1 + 8} \right]^{0,9} \\
&= 55 \text{ }^\circ\text{C} \left[\frac{683}{600} \right]^{0,9} \\
&= 61,80 \text{ }^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

- d. Suhu rata-rata kecmatan ulubelu ialah (lampiran)

$$\theta_a = \frac{\sum x}{30} = 27,351^\circ\text{C}$$

- e. Menentukan kenaikan temperatur *top oil* ($\Delta\theta_{on}$) (**IEC 354-1972**)

$$\begin{aligned}
\Delta\theta_{on} &= \Delta\theta_{0(n-1)} + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_{0(n-1)})(1 - e^{-t/\tau}) \\
\Delta\theta_{on} &= 55 \text{ }^\circ\text{C} + (61,80^\circ\text{C} - 55 \text{ }^\circ\text{C})(1 - e^{-1/3}) \\
\Delta\theta_{on} &= 56,92^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

- f. Menentukan selisih temperatur antara *hot spot* dengan *top oil*

$$\begin{aligned}
\Delta\theta_{td} &= (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br})K^{2y} \\
\Delta\theta_{td} &= (78 \text{ }^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C})(1,075)^{2(0,9)} \\
\Delta\theta_{td} &= (23 \text{ }^\circ\text{C})(1,075)^{1,8} \\
\Delta\theta_{td} &= (23 \text{ }^\circ\text{C}) \times 1,0 \\
\Delta\theta_{td} &= 26,19 \text{ }^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

- g. Menentukan temperatur *hot spot*

$$\begin{aligned}
 \Delta\theta_c &= \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{otd} \\
 &= 27,351^\circ\text{C} + 56,92^\circ\text{C} + 26,19^\circ\text{C} \\
 &= 110,351^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

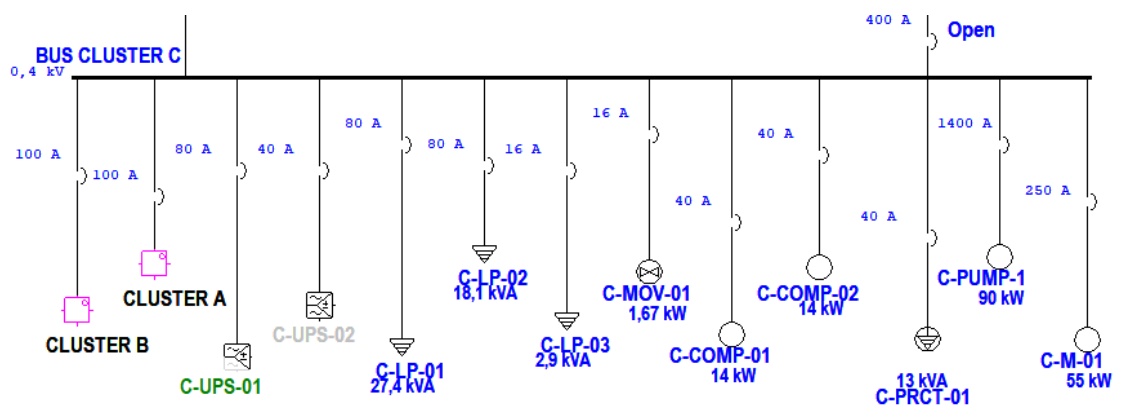
Dalam pembebanan 107,5% maka didapatkan nilai $110,351^\circ\text{C}$ apabila kita mengacu ke peraturan iec maka trafo dengan suhu hotspot sebesar itu hanya dapat beroperasi selama 6 jam saja. Untuk solusinya dilakukan penambahan trafo baru.

4.3 Penambahan Trafo untuk *Cluster C*

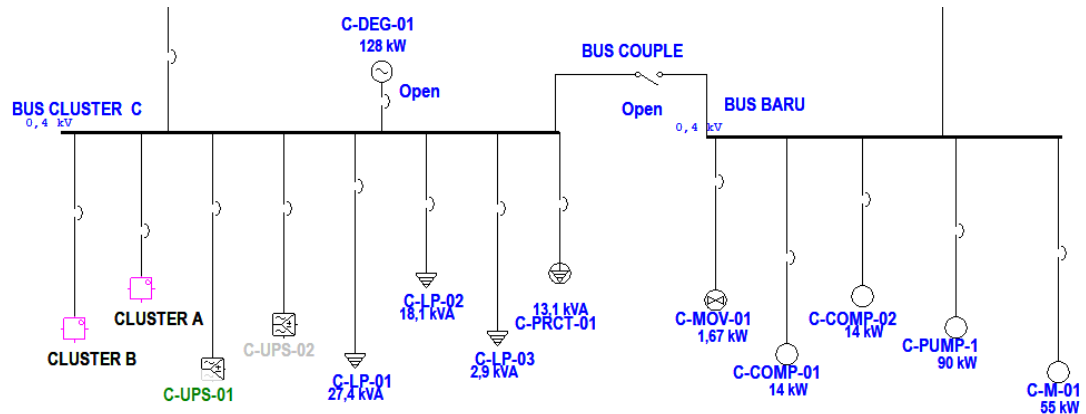
Penambahan trafo dilakukan untuk menjaga keandalan sistem kelistrikan di *cluster c*. Sebelum penambahan dilakukan perhitungan jumlah beban yang akan di suplai oleh trafo tersebut.

4.3.1 Memperhitungkan Kapasitas Trafo.

Perhitungan jumlah beban yang akan di tanggung oleh trafo. Beban pada busbar *cluster c* saat ini akan di bagi menjadi dua busbar satu busbar baru digunakan khusus beban motor dan busbar lama beban bukan motor.



Gambar 4. 5 Busbar pada cluster c sebelum pemisahan beban motor dan bukan motor.



Gambar 4. 6 Busbar Pada cluster c setelah pemisahan beban

Perhitungan jumlah beban pada busbar yang baru untuk menentukan kapasitas trafo yang akan di pasang.

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Total Beban pada busbar baru

ID beban	KAPASITAS	kV	kW	kVAR	kVA
C-COMP-01	14 kW	0,4	13,152	9,864	16,44
C-COMP-02	14 kW	0,4	13,293	9,97	16,61
C-M-01	55 kW	0,4	45,22	33,917	56,52
C-MOV-01	1,67 kW	0,4	1,048	0,705	1,26
C-PRCT-01	13 kVA	0,4	7,478	5,609	9,34
C-PUMP-1	90 kW	0,4	74	55,5	92,5
Total kVA					192,69

Catatan : C-M-01 tidak dapat bekerja secara bersamaan dengan C-PUMP-1 maka nilai total kVA di kurang nilai kVA dari C-M-01

Maka

$$S_{peak} = (192,69 \text{ kVA} - 56,52 \text{ kVA})$$

$$= 136,17 \text{ kVA}$$

Jika menggunakan trafo 200 kVA maka

$$200 \times 80\% = 160$$

perhatikan nilainya, yang berpengaruh pada kapasitas busbar terpasang. Setiap busbar dan pengaman memiliki nilai KHA. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi arus hubung singkat 3 fasa pada busbar *incoming cluster C* yang nantinya akan terhubung ke trafo yang baru. Untuk melihat perbedaan arus hubung singkat sebelum penambahan trafo dan sesudah penambahan trafo.

Rumus hubung singkat 3 fasa

$$I_a = \frac{E_{ph}}{Z_{1eq}}$$

$$E_{ph} = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

I_a = arus hubung singkat tiga fasa

E_{ph} = tegangan fasa – netral (volt)

Z_{1eq} = impedansi equivalent urutan positif

Dari simulasi ETAP di dapatkan hasil arus hubung singkat tiga fasa pada bus *incoming* Kluster c sebagai berikut :

Tabel 4. 15 Hasil perhitungan arus hubung singkat tiga fasa di busbar *incoming* Kluster C dari ETAP

sebelum penambahan trafo				setelah Penambahan Trafo			
Nilai Impedansi urutan positif				Nilai Impedansi urutan positif			
kV	<i>Resistance</i>	<i>Reactance</i>	<i>Impedance</i>	kV	<i>Resistance</i>	<i>Reactance</i>	<i>Impedance</i>
6,300	0,03879	0,30059	0,30308	6,300	0,03881	0,30001	0,30251
nilai hubung singkat 3 fasa				Nilai Hubung Singkat 3 fasa			
kV	Isc (A)	I puncak (A)	I rata-rata (A)	kV	Isc (A)	I puncak (A)	I rata-rata (A)
6.300	13.201	32.233	10.152	6.300	13.226	32.283	10.152

Dari nilai arus hubung singkat sebelum dan sesudah penambahan trafo didapat kenaikan arus hubung singkat dari 13.201 A menjadi 13.226 A sedangkan nilai KHA pada busbar *Incoming cluster c* adalah 16.000 A maka penambahan trafo di katakan aman bagi sistem yang telah ada.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian dari simulasi etap dan perhitungan di dapatkan hasil sebagai berikut ini :

1. Didapatkan pembebanan diatas *rating* dari trafo yaitu sebesar 107,5% dan 104,2 % pada kondisi 3, yaitu kondisi dimana beban pada trafo tersebut bekerja.
2. Pada pembebanan 107% di dapatkan nilai *hotspot* sebesar 110,35°C. Berdasarkan IEC 354 maka trafo hanya dapat beroperasi selama 6 jam.
3. Setelah penambahan trafo di dapat nilai pembebanan trafo di bawah 80 % dari nilai *rating* nya.
4. Perhitungan arus hubung singkat tiga phasa sebelum dan sesudah penambahan trafo di dapatkan kenaikan nilai sebesar 25 Ampere nilai ini masih di bawah nilai KHA busbar pada trafo incomig yaitu sebesar 16 KA

5.2 Saran

Dari penelitian ini di dapatkan beberapa saran yaitu :

1. Sebaiknya dilakukan penambahan trafo agar sistem pembangkitan mempunyai kehandalan yang baik.
2. Sebelum dilakukan penambahan trafo dilakukan SOP (standar operasional) pembatasan beban, ketika akan melakukan pengoprasian beban berdaya besar agar trafo tidak melebihi rating trafo.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bean, Richard L. *Transformers For The Electric Power Industry*.
- [2] <https://www.accuweather.com/en/id/depok/202649/month/202649?monyr=5/01/2017>
- [3] IEC 76. *Power Transformer*. IEC Publication, 1976.
- [4] IEC 354. *Loading Guide For Oil Immersed Transformer*. IEC Publication, 1972
- [5] Kadir, Abdul. *Transformator*. Jakarta : Pradnya Paramita, 1979.
- [6] PT. PLN (Persero). *Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak*, SPLN 17, 1979.
- [7] PT. PLN (Persero). *Spesifikasi Transformator Tegangan Tinggi*, SPLN 61, 1985.
- [8] PT. PLN (Persero). *Transformator Tenaga*. SPLN 8-1, 1991.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Personal

NIM : 2014-11-118
Nama : Tresno Wibowo
Tempat/Tgl. Lahir : Rejosari, 20 Maret 1996
Jenis Kelamin : Laki – laki
Agama : Islam
Status Perkawinan : Belum Menikah
Program Studi : S1 Teknik Elektro
Alamat Rumah : JL Raya rejosari RT1/RW 1 kel.Rejosari Kec.Ulubelu
Kab.tanggamus
Telp : - Hp.081278940572
E-mail : tresno1411118@sttpln.ac.id

Pendidikan

Jenjang	Nama Lembaga	Jurusan	Tahun Lulus
SD	SDN 1 Rejosari	-	2008
SMP	SMPN 2 Ulubelu	-	2011
SMK	SMK YPT Pringsewu	TKR	2014

Demikian daftar riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 25 Juli 2018

Mahasiswa Ybs.

TRESNO WIBOWO
201411118



SEKOLAH TINGGI TEKNIK – PLN
LEMBAR BIMBINGAN PROYEK SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Tresno Wibowo
NIM : 2014 – 11 – 289
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1
Pembimbing Utama : Ir.Agung Hariyanto,M.T.
JudulSkripsi : Analisa Penggunaan Trafo Pemakaian Sendiri Untuk
Memenuhi Kebutuhan Beban Pada Kluster A,B,C,D dan F
di PLTP Ulubelu (2X55 MW).

Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf pembimbing

Tanggal	Temperatur Maksimal (°C) Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	28	25	28	24	26	30	27	27	26	25	25	28
2	29	26	27	24	25	31	27	27	25	25	25	30
3	26	23	29	25	26	33	27	27	25	25	25	32
4	28	25	24	24	27	26	27	27	27	26	26	27
5	28	27	30	24	26	26	27	27	27	26	25	19
6	28	26	30	28	26	26	27	25	29	26	25	25
7	27	26	29	28	26	26	27	25	30	26	25	25
8	29	25	29	28	27	26	27	26	30	28	25	25
9	23	29	27	28	27	25	27	25	29	28	27	26
10	29	28	24	28	27	26	27	25	31	28	27	26
11	25	28	30	28	27	27	27	25	31	28	28	27
12	26	28	27	28	27	27	26	25	29	28	28	28
13	26	28	29	27	27	27	26	26	28	28	28	28
14	26	24	27	28	27	27	26	25	27	28	27	28
15	26	27	29	24	27	27	26	30	29	26	27	26
16	26	27	28	24	26	27	26	29	26	26	27	26
17	25	28	29	29	26	27	26	28	28	28	27	26
18	28	27	29	29	26	27	26	29	29	28	27	27
19	28	28	29	29	26	27	27	30	30	29	27	22
20	29	28	29	29	26	26	27	29	31	31	27	26
21	29	24	29	27	26	27	27	28	32	30	27	27
22	29	28	28	28	26	27	25	29	32	28	27	27
23	28	27	31	29	26	27	25	28	31	27	27	27
24	28	28	30	27	26	27	27	27	28	26	27	27
25	28	30	30	27	27	27	27	30	29	28	31	27
26	28	32	27	30	27	27	27	29	30	29	26	27
27	27	27	29	30	27	27	27	29	31	29	26	27
28	29	19	30	32	27	27	27	30	31	30	30	27
29	28	25	28	30	27	25	27	31	28	31	29	31
30	30		28	31	26	25	27	31	29	30	29	26
31	29		30	30	27		25	28		29		26
Rata-rata tahunan			$\theta_a = \frac{\sum x}{12} = 27,351$									

