

Analisis Sistem Kelistrikan Pemakaian Sendiri PLTU Adipala Pada Saat Gangguan Transformator

Fitrizawati¹, Feri Wigiyanto², Utis Sutisna³

^{1,2,3} Program studi S1 Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo

Jl. Semangir No. 1 Purwokerto 53132, Indonesia

email: fitrizawati@gmail.com¹, feriw@gmail.com², t155n4@gmail.com³

Abstrak

Kelangsungan energi listrik diperlukan sebuah manajemen energi listrik dengan efisiensi tinggi dan bahan bakar yang mudah didapat. Salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Adipala dengan kapasitas 660 MW yang terkoneksi dengan jaringan *Gas Insulated Switchgear* (GIS) 500 KV. Sistem kelistrikan Pemakaian sendiri diperoleh dari Generator ketika pembangkit beroperasi, jaringan GIS 500 KV ketika generator *Stop* dan *Emergency Diesel Generator* (EDG), ketika gangguan GIS 500 KV, *Generator Transformer* (GT), *Unit Auxiliary Transformer* (UAT) A dan B. kehandalan sistem pemakaian sendiri sangat penting terutama ketika gangguan GIS 500 KV, gangguan dan pemeliharaan GT, UAT A atau B. Dalam Penelitian ini dilakukan Analisis sistem kelistrikan aliran beban pemakaian sendiri yang disimulasi menggunakan *software Etap 12.6* untuk mengetahui efek yang terjadi terhadap pemakaian sendiri. Adapun Simulasi yang dilakukan dengan kondisi pembangkit beroperasi normal, gangguan GIS 500 kV, gangguan dan pemeliharaan GT, UAT A atau B. Gangguan GIS, GT dan UAT A atau B menyebabkan suplai pemakaian sendiri terputus, pengoperasian EDG dapat *mem-back up* beberapa peralatan sistem pelumasan dan penerangan sedangkan sistem pendinginan tidak *ter-back up*. Sebagai Solusi penambahan *circuit breaker* pada incoming UAT dapat meningkatkan kehandalan suplai pemakaian sendiri karena peralatan masih bisa beroperasi ketika terjadi gangguan dan pemeliharaan.

Kata Kunci : Sistem kelistrikan, Pemakaian sendiri, Gangguan transformator

Abstract

Continuity of electrical energy requires an management of electrical energy with high efficiency and easily available fuel. One of them is the Adipala Steam Power Plant (PLTU) with a capacity of 660 MW which is connected to the 500 KV Gas Insulated Swit (GIS) network. Electrical system Usage itself is obtained from the Generator when the generator is operating, the GIS 500 KV network when the generator stops and the Emergency Diesel Generator (EDG), when the GIS 500 KV is interrupted, the Generator Transformer (GT), the Auxiliary Transformer Unit (UAT) A and B. self-use is very important especially when GIS 500 KV disturbance, interference and maintenance of GT, UAT A or B. In this study an electrical system analysis of the use of self-load is simulated using Etap 12.6 software to determine the effects that occur on its own use. Simulations performed under normal operating conditions, 500 kV GIS disturbance, GT, UAT A or B interference and GIS disturbance, GT and UAT A or B disrupt the supply of self-use, the EDG operation can back up some system equipment lubrication and lighting while the cooling system is not backed up. As a solution to the addition of a circuit breaker to the incoming UAT, it can improve the reliability of the use of its own supply because the equipment can still operate when interference and maintenance occur.

Keywords : Electrical System, Own Use, Transformer Disturbance

1. Pendahuluan

Pengoperasian pembangkit listrik sangat memerlukan peralatan pendukung yang digerakan menggunakan listrik seperti peralatan pada sistem pelumasan, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, dan sistem lainnya. Peralatan tersebut disuplai dari hasil produksi generator, sistem jaringan luar, sistem *emergency* seperti *Emergency Diesel Generator* (EDG) dan *Uninterruptible power supply* (UPS) yang dikenal dengan sistem kelistrikan pemakaian sendiri. PLTU Adipala terdiri dari 1 unit pembangkit sebesar 660 MW dan daya listrik yang dihasilkan terkoneksi dengan jaringan 500 kV *gas insulated switchgear* (GIS) Adipala melalui transformator 22/500 kV.

ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

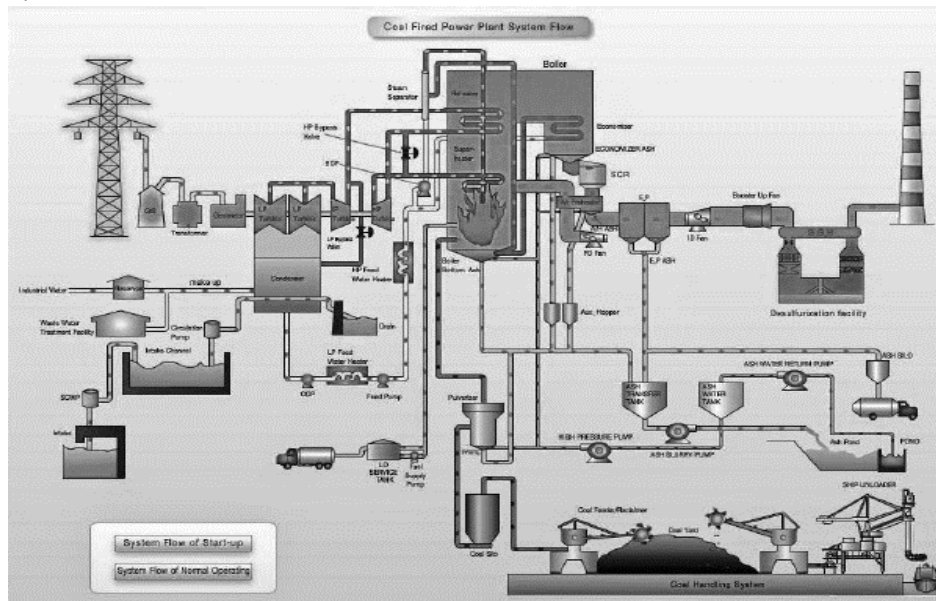
Sistem jaringan 500 kV merupakan sistem jaringan saluran tunggal (*Single busbar*). Sistem kelistrikan pemakaian sendiri PLTU Adipala secara umum terdiri dari tegangan 500 KV, 22 KV, 6,3 kV, 400/230 V untuk sistem AC beserta sistem *emergency*-nya meliputi sistem EDG dan UPS. Sedang untuk DC terdiri dari tegangan 220 V, 110 V. Keseluruhan sistem tersebut saling terkait untuk mendukung pengoperasian PLTU Adipala baik kondisi operasi normal maupun saat emergensi atau gangguan. Sistem kelistrikan pemakaian sendiri merupakan sistem yang sangat vital dalam menjaga pasokan listrik internal PLTU Adipala. Tidak dapat dipungkiri gangguan timbul pada sistem pemakaian sendiri dapat terjadi disebabkan:

- Gangguan luar yaitu Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*) dan Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.
- Gangguan dalam yaitu Tegangan dan arus abnormal, Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya, gangguan transformator dan arester.

Jika gangguan diatas terjadi, secara otomatis CB yang mensuplai pemakaian sendiri akan terputus. maka sumber pasokan untuk sistem pemakaian sendiri akan hilang sehingga unit pembangkit PLTU Adipala harus berhenti seketika diikuti semua peralatannya, secara otomatis EDG start mem-back up peralatan sistem pelumasan sedangkan sistem pendinginan tidak di *back-up* sampai di temukan permasalahan tersebut dan perbaikannya. Tanpa adanya pendinginan ini berdampak kerusakan peralatan utama seperti turbin dan beberapa peralatan lainnya yang jika di hitung berdampak banyak kerugian secara finansial dan kesempatan produksi berimbas pada pemadaman beberapa tempat. Berdasarkan kondisi diatas maka dilakukan analisis sistem kelistrikan pemakaian mandiri PLTU adipala pada saat gangguan transformator.

2, Tinjauan Pustaka

PLTU merupakan pembangkit listrik tenaga uap yang banyak digunakan karena efisiensinya baik dan bahan bakarnya mudah didapat sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energi yang merubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. PLTU menggunakan fluida kerja uap yang bersikulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Siklus PLTU ditunjukan gambar 1.



Gambar. 1 Siklus proses pembangkitan PLTU.[1]

ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut :

- a. Air diisikan ke *boiler* hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
- b. Uap hasil produksi *boiler* dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
- c. Generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan.

2.1. Transformator

Transformator (trafo) adalah suatu mesin listrik statis yang berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik arus bolak-balik (AC) dari suatu level tegangan tinggi ke level tegangan rendah atau sebaliknya. Pada umumnya transformator terdiri dari 3 komponen pokok yaitu: kumparan primer yang terhubung dengan sumber tegangan bolak-balik (AC) yang bertindak sebagai masukan (input), kumparan sekunder yang terhubung dengan beban listrik bolak-balik (AC) yang bertindak sebagai keluaran (*output*), dan inti besi yang berfungsi untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan [2].

2.2. Generator

Generator adalah suatu alat yang berfungsi mengubah energi gerak (Mekanik) menjadi energi listrik. generator bekerja sesuai dengan prinsip elektromagnet. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sirkuit listrik eksternal, Generator tidak menciptakan arus listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitan. Sumber energi mekanik bisa berupa turbin mesin uap, mesin pembakaran dalam, turbin pada air terjun, energi surya, dan lain sebagainya.

Arus listrik AC dihasilkan dari hasil induksi elektromagnetik, sebuah lilitan kawat yang berdekatan dengan kutub magnet permanen. Kutub permanen diputar pada sumbu nya, maka di ujung-ujung lilitan timbul tegangan listrik yang ditunjukkan oleh penunjukan jarum volt meter. Jarum volt meter bergoyang kearah kanan dan kiri, ini menunjukkan suatu waktu polaritasnya positif, dan di suatu waktu yang lain polaritasnya negatif [3],[4].

2.3. Emergency Diesel Generator

Emergency Diesel Generator adalah sebuah *Diesel Engine Generator Sets* dimana sebagai penggerak utamanya (*prime mover*) adalah mesin diesel dan di hubungkan (*couple*) dengan generator listrik dalam satu kedudukan (*base frame*) yang kokoh dan terinstal dengan baik sehingga dapat dioperasikan dengan baik.

Pada umumnya *Emergency Diesel Generator* diperlukan untuk memasok tenaga listrik ke beban-beban essential (seperti *turning gear*, *air preheater*, dan lain-lain) melalui Bus tegangan rendah 380 V AC. Yang pada kondisi normalnya dipasok dari *unit Auxiliary Transformer* (UAT) yang diambilkan melalui Bus tegangan menengah baik dari generator transformer, ataupun *station service transformer* [2].

Emergency Diesel Generator yang terpasang pada pembangkit umumnya mempunyai sistem startingnya dengan baterai direncanakan mampu memikul beban pemakaian sendiri bila suplai utama trip. Operasi *Emergency Diesel Generator* tersebut secara otomatis pada saat turbin trip atau tidak ada tegangan pada Bus essential 380 V AC. Selain dapat dioperasi secara otomatis dapat pula dioperasikan secara manual lewat local panel, begitu pula dalam pengendaliannya selain dapat dikendalikan dari local juga dapat di kendalikan dari control Room.

2.4. Studi Aliran Daya Listrik

Analisis aliran daya merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem tenaga listrik, apakah masih dalam keadaan aman atau tidak, sehingga sangat dibutuhkan dalam perencanaan sistem untuk masa yang akan datang dan merupakan bahan evaluasi terhadap sistem yang ada. Perhitungan terkait analisis dihitung sebagai berikut;

ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

a. Daya semu

adalah daya yang lewat pada suatu saluran transmisi atau distribusi:

$$S_{1\phi} = V \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Maka daya semu untuk 3 fasa :

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

b. Daya aktif

adalah daya yang dipakai untuk keperluan menggerakkan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Daya aktif satu fasa :

$$P_{1\phi} = V \cdot I \cdot \cos \Theta \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Daya aktif tiga fasa

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cdot \cos \Theta \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

c. Daya reaktif

adalah selisih antara daya semu yang masuk dalam saluran dengan daya aktif yang terpakai untuk daya mekanis panas. Daya reaktif untuk satu fasa :

$$Q_{1\phi} = V \cdot I \sin \Theta \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Daya reaktif untuk tiga fasa :

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \sin \Theta \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

d. Rugi daya

Daya listrik yang di kirim dari sumber pembangkit listrik ke beban akan mengalami rugi-rugi, disamping rugi tegangan maka akan didapat pula rugi daya yaitu :

$$P_{\text{loss}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Jika kerugian daya telah diperoleh maka besar presentase kerugian daya dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\%P_{\text{loss}} = \frac{P_{\text{loss}}}{P} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

S = daya semu (VA)

P = Daya aktif (watt)

Q = Daya reaktif (VAR)

P_{loss} = Rugi-rugi daya (watt)

cos Θ = factor daya

V_{L-L} = tegangan fasa fasa (volt)

V = tegangan fasa netral (volt)

I = arus yang mengalir (A)

R = Resistansi saluran (Ohm)

2.5. Metode perhitungan aliran daya,

Dalam melakukan perhitungan aliran daya, terdapat beberapa metode yang bisa diaplikasikan, yaitu:

a. Metode Gauss-Seidel

Penyelesaian digital untuk masalah aliran beban akan melalui proses ulangan dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan rel yang tidak diketahui (*iterative process*) dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan rel yang tidak diketahui dan menghitung suatu

ITEKS**Intuisi Teknologi Dan Seni**

nilai baru untuk setiap tegangan rel dari nilai-nilai perkiraan pada rel-rel yang lain, daya nyata yang ditentukan, dan daya reaktif yang ditentukan atau besarnya tegangan. Jadi diperoleh suatu himpunan baru nilai tegangan untuk setiap rel dan terus digunakan untuk menghitung satu lagi himpunan tegangan rel. Setiap perhitungan suatu himpunan baru tegangan itu dinamakan iterasi (*iteration*). Proses iterasi ini diulang terus hingga perubahan yang terjadi pada setiap rel kurang dari suatu nilai minimum yang telah ditentukan. Jika P_2 dan Q_2 adalah daya nyata dan reaktif yang direncanakan untuk memasuki sistem pada rel 2, [5],[6]

$$V_2 I_2 = P_2 - JQ_2 \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana I_2 dinyatakan sebagai berikut

$$I_2 = \frac{P_2 - JQ_2}{V_2} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk keseluruhan N buah rel, tegangan yang dihitung pada setiap rel k di mana P_k dan Q_k diberikan adalah

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{P_k - JQ_k}{V_k} - \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \right) \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

b. *Metode Newton-Raphson*

Uraian deret Taylor untuk suatu fungsi dengan dua variabel atau lebih adalah dasar metoda Newton-Raphson dalam penyelesaian soal-soal aliran beban. Studi kita tentang metoda ini akan dimulai dengan suatu pembicaraan tentang penyelesaian suatu soal yang hanya menyangkut dua persamaan dan dua variabel. Kemudian akan kita lihat bagaimana memperluas analisa ini untuk penyelesaian persamaan-persamaan aliran beban. Untuk menerapkan metoda Newton-Raphson pada penyelesaian persamaan aliran beban kita dapat memilih untuk menyatakan tegangan rel dan admitansi saluran dalam bentuk polar atau bentuk siku-siku. Jika kita pilih bentuk polar dan kita uraikan Persamaan (2.10) ke dalam unsur nyata dan khayalnya dengan :

$$V_k = |V_k| \angle \delta_k, \quad V_n = |V_n| \angle \delta_n \text{ dan } Y_{kn} = |Y_{kn}| \angle Q_{kn}$$

Dengan persamaan

$$P_k - JQ_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(Q_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

Jadi

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(Q_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

Dan

$$Q_k = - \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(Q_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

[8]

c. *Program Electrical Transient Analyzer Power (ETAP)*

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*, [6],[7].

3. Metode Penelitian

3.1. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Satu unit personal computer
- Aplikasi etap 12.6.0
- Printer.

3.2. Bahan Penelitian

Bahan untuk analisis sistem kelistrikan PLTU Adipala didapat dengan cara :

- Buku referensi dan modul tentang pemakaian sendiri PLTU dan aplikasi etap
- Single line* diagram keseluruhan PLTU Adipala.

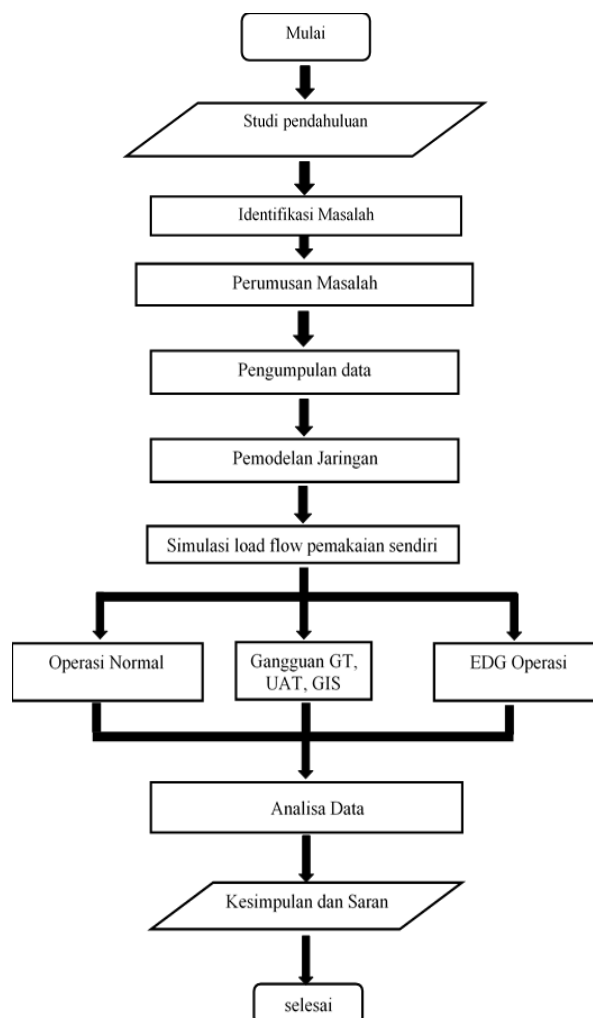
ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

3.3. Metode Penelitian

- a. Pengambilan data, yaitu data Generator, Transformator, Saluran penghantar, dan beban.
- b. Pemodelan Sistem tenaga listrik menggunakan *Software ETAP 12.6* dengan menggambar dan menginputkan sistem kelistrikan kedalam *software*, yaitu data Generator, Transformator, dan beban.
- c. Simulasi *Single Line* untuk mengetahui aliran daya atau *load flow* sistem kelistrikan tersebut sesuai dengan sistem *eksisting* dengan percobaan sebagai berikut :
 1. Mensimulasikan pemakain sendiri pada saat operasi normal.
 2. Mensimulasikan gangguan generator transformer, *unit auxiliary transformer* dan GIS.
 3. Mensimulasikan pemakaian sendiri menggunakan *emergency diesel generator*.
 4. Mensimulasikan pemakaian sendiri setelah penambahan circuit breaker pada incoming *unit auxiliary transformer* A dan B.
- d. Analisa hasil simulasi dimana pengujian *single line* diagram system pemakaian sendiri setelah dilakukan simulasi *load flow* terhadap *back-up* sistem peralatan.
- e. Kesimpulan, hasil simulsi *load flow* sistem pemakaian sendiri menggunakan *software ETAP 12.6*.

3.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar. 2. Diagram Alir Penelitian pembangkitan PLTU

ITEKS

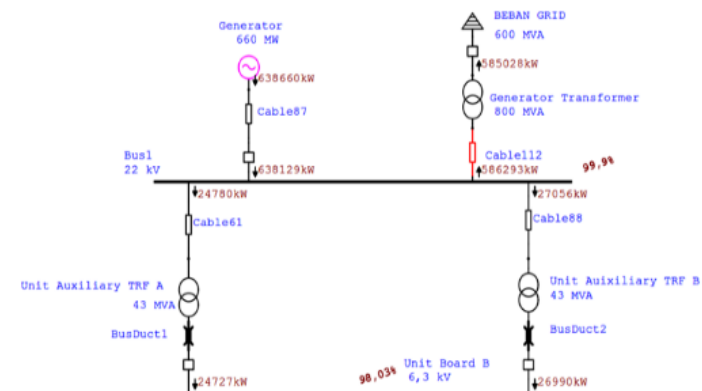
Intuisi Teknologi Dan Seni

4. Hasil dan Pembahasan

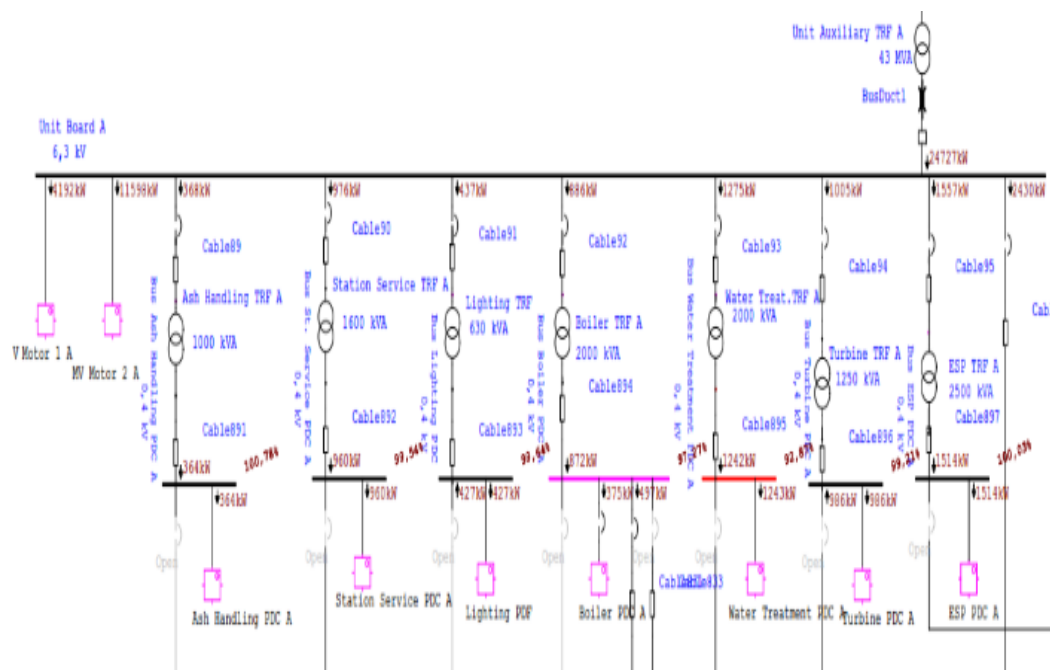
Simulasi sistem kelistrikan pada PLTU Adipala dilakukan dengan bantuan Sofeware ETAP 12.6.0. Parameter awal yang digunakan antara lain menggunakan standar IEC dan frekuensi 50 Hz. Terdapat tiga jenis simulasi yang dilakukan, yaitu simulasi *load flow* pembangkit beroperasi secara normal, simulasi *load flow* pembangkit ketika terkena gangguan *generator transformer*, *unit auxiliary transformer*, *gas insulated switchgear* dan simulasi *load flow* pemakaian sendiri dari *emergency diesel generator*.

a. Simulasi Load Flow Pembangkit Beroperasi Normal

Pada Gambar 3 terlihat kondisi pemakaian sendiri pada saat beroperasi normal dengan beban 585,028 MW mengirim ke sistem 500 KV. Untuk pemakaian sendiri berasal dari generator dengan tegangan 22 KV diturunkan ke tegangan 6,3 KV melalui *Unit Auxiliary Transformator A* dengan beban 24,780 MW terlihat pada Gambar 4 dan *Unit Auxiliary Transformator B* dengan beban 27,506 MW terlihat pada Gambar 5 yang di distribusikan langsung ke peralatan dengan tegangan 6,3 KV seperti *Coling water pump*, *close cycle cooling water pump*, Mill, transformator dan PDC,[8].



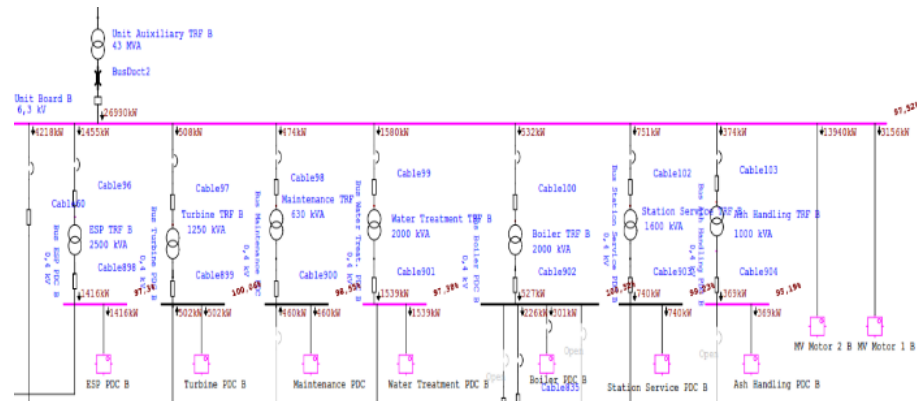
Gambar. 3 Simulasi load flow tegangan 22 kV pada saat pembangkit beroperasi normal



Gambar. 4 Simulasi load flow tegangan 6,3 kV board A pembangkit beroperasi normal

ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni



Gambar. 5 Simulasi load flow tegangan 6,3 kV board B pembangkit beroperasi normal

Sedangkan untuk beban dengan tegangan 400 V diturunkan menggunakan transformator PDC yang didistribusikan ke beban-beban pada masing-masing area terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 seperti boiler transformer, turbin transformer, *water treatment transformer* dll. Adapun beban pada masing-masing bus dapat dilihat pada Tabel 1 :

Tabel 1. Beban bus pada saat beroperasi normal

Beban bus	Tegangan (V)	Drop Voltage (%)	Daya (KW)
Bus Ash Handling PDC A	400	100,78	364
Bus Ash Handling PDC B	400	95,19	369
Bus Boiler PDC A	400	97,27	872
Bus Boiler PDC B	400	100,52	527
Bus Coal Handling PDC A	400	99,1	772
Bus Coal Handling PDC B	400	99,95	768
Bus CW PDC A	400	98,79	353
Bus CW PDC B	400	100,3	324
Bus ESP PDC A	400	100,03	1514
Bus ESP PDC B	400	97,3	1416
Bus Lighting PDC	400	99,64	427
Bus Maintenance PDC	400	98,55	460
Bus St. Service PDC A	400	99,54	960
Bus Station Service PDC B	400	99,23	740
Bus Turbine PDC A	400	99,21	986
Bus Turbine PDC B	400	100,06	502
Bus Water Treatment PDC B	400	97,38	1539
Bus Water Treatment PDC A	400	92,87	1243
Coal Handling A	400	98,4	350
Coal Handling B	400	99,3	228
Coal Handling Board A	6300	97,48	2417
Coal Handling Board B	6300	96,45	4171
Unit Board A	6300	98,03	24727
Unit Board B	6300	97,52	26990

Pada Tabel 1 terlihat nilai drop tegangan pada masing-masing bus dengan nilai rata-rata drop tegangan sebesar 1,65% atau menjadi 98,45%. Nilai tersebut masih memenuhi standard Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 edisi 2014, [9],[10], dengan nilai batas minimum

ITEKS

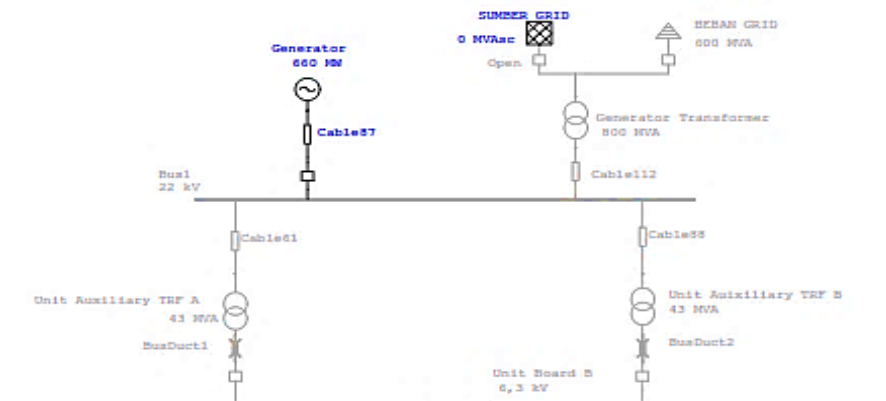
Intuisi Teknologi Dan Seni

drop tegangan $\pm 4\%$. Meskipun masih memenuhi standard terdapat bus yang nilai drop tegangan melebihi standard yaitu Bus *Water Treatment* PDC A sebesar 7,13 % di karenakan banyak peralatan bersifat induktif seperti motor- motor listrik dengan kapasitas dengan jumlah banyak.

b. Simulasi *Load Flow* Pembangkit Mengalami Gangguan Generator Transformer, *Unit Auxiliary Transformer*, *Gas Insulated Switchgear*

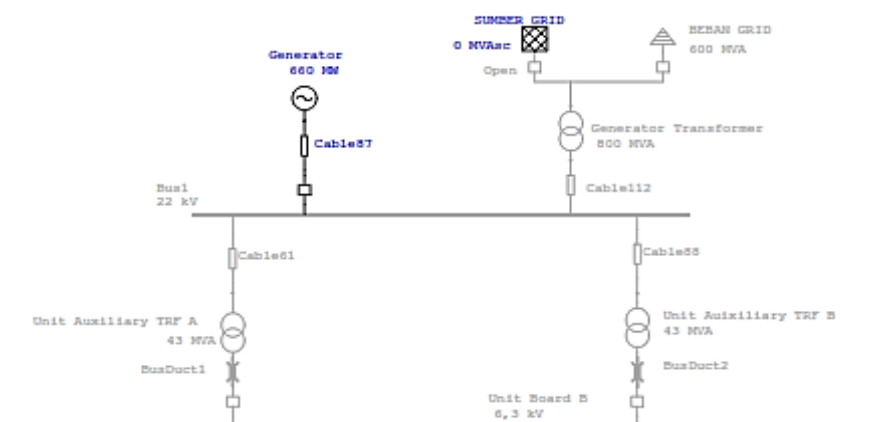
Pada Gambar 6 di simulasikan kondisi pembangkit pada saat beroperasi normal secara tiba-tiba terkena gangguan generator transformer, *Unit Auxiliary Transformer* atau *gas insulated switchgear*. Maka secara otomatis unit akan berhenti seketika karena tidak ada suplai.

- Kondisi pada saat gangguan Generator Transformator dan Unit Auxiliary Transformator aliran daya akan terputus secara otomatis karena ketiga transformator terhubung dalam satu bus bar tanpa *Circuit Breaker*. Sehingga beban-beban pemakaian sendiri akan berhenti seketika.
- Kondisi pada saat gangguan *Gas Insulated Switchgear* aliran daya juga akan terputus secara otomatis karena koneksi antara unit pembangkit dengan *gas insulated switchgear* menggunakan 1 penyulang. Sehingga beban-beban pemakaian sendiri akan berhenti seketika.



Gambar. 6 Simulasi *load flow* pembangkit mengalami gangguan Generator Transformer, *Unit Auxiliary Transformer*, *Gas Insulated Switchgear*

c. Simulasi *Load Flow* Pembangkit Mengalami Pemeliharaan Generator Transformer, *Unit Auxiliary Transformer*, *Gas Insulated Switchgear*



Gambar. 7 Simulasi *load flow* pembangkit mengalami Pemeliharaan Generator Transformer, *Unit Auxiliary Transformer*, *Gas Insulated Switchgear*.

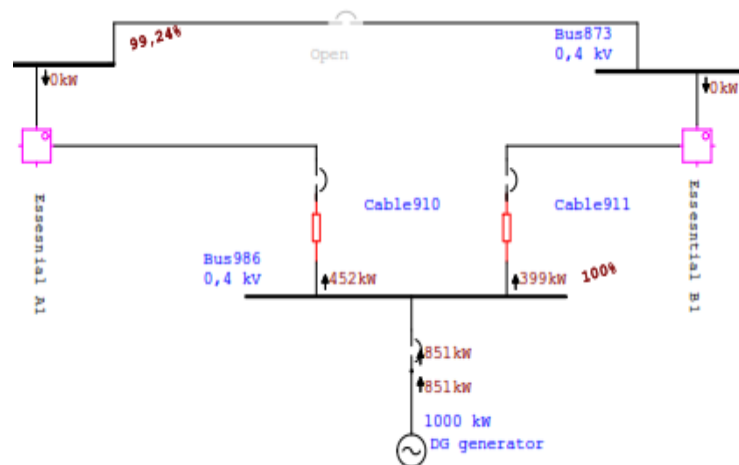
ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

Pada Gambar 7 disimulasikan kondisi pembangkit ketika terjadi kegiatan pemeliharaan baik *Generator Transformer*, *Unit Auxiliary Transformer* atau *Gas Insulated Switchgear*, sehingga kondisi pemakaian sendiri tidak ada suplai dari *grid* 500 KV sedangkan kondisi generator siap untuk dioperasikan. Biasanya kondisi pemeliharaan seperti ini sudah di rencanakan terlebih dahulu sehingga kemungkinan yang terjadi sudah diminimalisir seperti stop unit sampai peralatan kondisi dingin, pengoperasian *Emergency Diesel Generator*, atau penyediaan diesel generator cadangan yang di sesuaikan kebutuhan.

d. Simulasi Load Flow Pemakaian Sendiri Dari *Emergency Diesel Generator*

Kondisi pengoperasian *Emergency Diesel Generator* terlihat pada Gambar 8 terjadi karena terputusnya suplai dari GIS 500 KV dan pemeliharaan *Generator Transformer*, *Unit Auxiliary Transformer*, *Gas Insulated Switchgear*. Ada beberapa peralatan kritikal yang di suplai oleh *Emergency Diesel Generator* dengan kapasitas 1000 kW, tegangan kerja 400 V mendistribusikan ke *board esential* A dengan beban 452 kW dan *esential* B dengan beban 399 kW untuk mengoperasikan beberapa peralatan terlihat pada Tabel 2 :



Gambar. 8 Simulasi *load flow* pemakaian sendiri dari *Emergency Diesel Generator*.

Tabel 2 Beban yang di suplai *Emergency Diesel Generator*

Peralatan	Daya	Arus (ampere)	Drop Tegangan
AC Auxilliary Oil Pump	55 kW	112,1	96,90%
AC MOP A for FWPT A	37 kW	76,01	97,58%
AC MOP A for FWPT B	37 kW	75,93	97,68%
AC PS (2) of DC AFC	14,8 kVA	21,58	98,35%
AC PS of DG	6,9 kVA	10,01	99,13%
APH A main Motor	15 kW	35,86	76,33%
APH B Main Motor	15 kW	35,92	76,18%
Axial fan in EDG House	1,1 kW	2,984	98,95%
Barring Gear for Turbin	37 kW	76,06	97,53%
Elevator boiler	40 kVA	58,51	97,83%

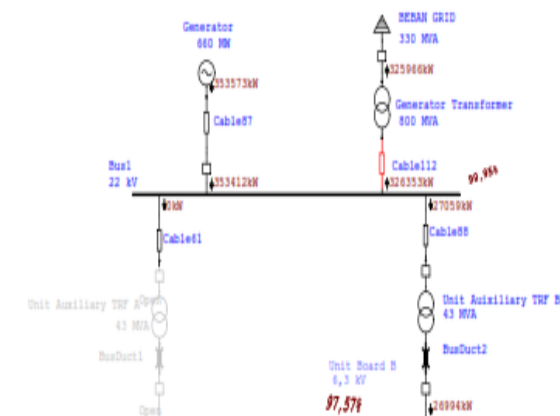
ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

FDF A Lube Oil Station	8 kVA	11,79	96,63%
Gas Side Local Oil Pump	4 kW	9,604	97,03%
H2 seal oil	4 kW	9,594	97,13%
IDF A Lube Oil Station	11,2 kVA	16,73	94,60%
IDF B Lube Oil Station	11,2 kVA	16,76	94,38%
PAF A Lube Oil Station	10 kVA	14,83	95,68%
PAF B Lube Oil Station	10 kVA	14,75	96,48%
FDF B Lube Oil Station	8 kVA	11,74	97,28%
PLC BOP	14 kVA	20,34	98,90%
PS Essential LB	200 kVA	292,7	97,73%
PS(1) 110 V substation cb	10,8 kVA	15,9	96,80%
PS(1) 110 V substation cb	10,8 kVA	15,9	96,80%
PS(1) Elevator chimney	14,8 kVA	22,29	93,40%
PS (2) 220 DC CCB	60 kVA	87,45	98,40%
PS 230V boiler cabinet	31 kVA	45,02	99,00%
Recycle Cooling Air Fan	10,3 kVA	14,98	98,75%
Scan Air Fan A	15 kW	42,91	75,48%
Turbine 230 Power suplai	52 kVA	75,59	98,83%
Turbine JOP A	45 kW	91,57	97,25%
Vaporizer for CO2 Tank	65,4 kVA	95,21	98,58%

Pada Tabel 2 terlihat nilai drop tegangan pada masing-masing peralatan dengan nilai rata-rata *drop* tegangan sebesar 4,87% atau menjadi 95,13%. Adapun nilai terendah *drop* tegangan tersebut terdapat pada peralatan APH A main Motor, APH B main Motor dan Scan Air Fan A sebesar ± 25 %. Penyebab *drop* tegangan tersebut dikarena beban motor yang bersifat induktif dengan factor daya sebesar 0,8 (cos phi).

- e. Simulasi Load Flow penambahan Circuit Breaker pada Unit Auxiliary Transformer A dan Unit Auxiliary Transformer B

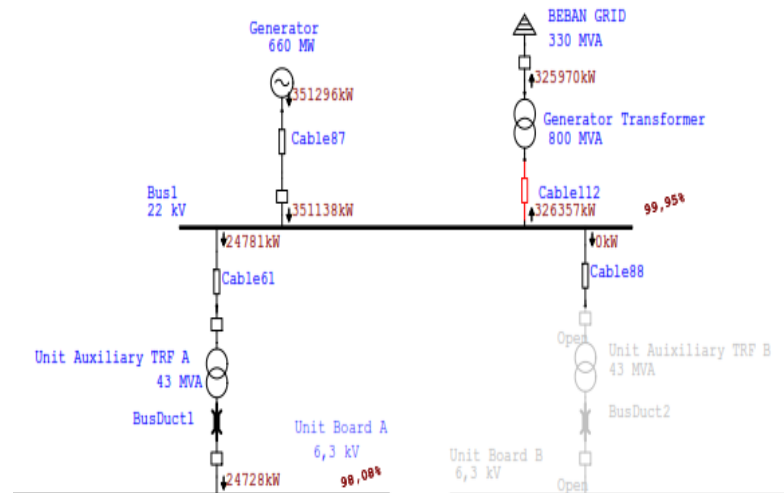


Gambar. 9 Simulasi load flow terjadinya gangguan UAT A Setelah penambahan circuit brekaer

ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

Suplai pemakaian sendiri ketika Gangguan Generator masih dapat ter-back up dari sistem GIS 500 KV. Dan jika sistem GIS 500 KV atau GT mengalami gangguan unit akan stop dan pemakaian sendiri didapat dengan mengoperasikan *Emergency diesel generator* menuju beberapa peralatan *essential* seperti sistem pelumasan dan penerangan sedangkan sistem pendinginan tidak ter-back up, hal ini dapat merusak peralatan karena tidak adanya pendinginan. Solusi yang dapat dilakukan untuk menyelamatkan pemakaian sendiri ketika gangguan *Unit Auxiliary Transformer A* atau *B* adalah dengan menambahkan *circuit breaker* pada *incoming* masing-masing *Unit Auxiliary Transformer* yang dapat dilihat Pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar. 10 Simulasi *load flow* terjadinya gangguan UAT A Setelah penambahan *Circuit Brekaer*

Pada Gambar 9 dan Gambar 10 terlihat aliran daya dari generator masih tetap mengalir ke pemakaian sendiri melewati UAT B untuk Gambar 9 dan UAT A untuk Gambar 10 menuju ke beban-beban peralatan. Dengan kondisi seperti ini pembangkit masih tetap beroperasi tetapi untuk kapasitas daya yang dikeluarkan generator tidak bisa beroperasi pada daya maksimal hanya beroperasi dengan daya maksimal 330 MW karena jumlah peralatan yang beroperasi disesuaikan dengan kapasitas *Unit Auxiliary Transformer*. Sedangkan pada saat terjadinya pemeliharaan *Unit Auxiliary Transformer A* atau *B* suplai untuk pemakaian sendiri masih dapat beroperasi dengan memutuskan salah satu *Circuit Breaker Unit Auxiliary Transformer* yang dipelihara dan kegiatan pemeliharaan bisa dilakukan secara bergantian.

Tabel 3 Beban bus pada saat gangguan UAT B

Bus peralatan	Tegangan (volt)	Beban (KW)	Drop tegangan (%)
Boiler MCC A	400	164	93,59
Bus Ash Handling PDC A	400	364	100,83
Bus Boiler PDC A	400	872	97,33
Bus Coal Handling PDC A	400	772	99,16
Bus CW PDC A	400	353	98,84
Bus ESP PDC A	400	1515	100,09
Bus Lighting PDC	400	427	99,69
Bus St. Service PDC A	400	960	99,59
Bus Turbine PDC A	400	986	99,27
Bus Water Treatment PDC A	400	1243	92,93
Bus Coal Handling A	400	350	98,46

ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

Coal Handling Board A	6300	2417	97,54
Unit Board A	6300	24728	98,08
Bus Turbine PDC A	400	986	99,27

Pada Tabel 4 terlihat nilai *drop* tegangan gangguan UAT B pada masing-masing *bus* dengan nilai *drop* tegangan sebesar 1,90% atau menjadi 98.10%, sedangkan terlihat nilai *drop* tegangan gangguan UAT A pada masing-masing *bus* dengan nilai rata-rata penurunan tegangan 1,38% atau menjadi 98.62%. Secara keseluruhan nilai *drop* tegangan masih normal.

Tabel 4 Beban *bus* pada saat gangguan UAT A

Bus peralatan	Tegangan (volt)	Beban (KW)	Drop tegangan (%)
Bus Ash Handling PDC B	400	369	95,24
Bus Boiler PDC B	400	527	100,57
Bus Coal Handling PDC B	400	768	100
Bus CW PDC B	400	324	100,36
Bus ESP PDC B	400	1417	97,35
Bus Maintenance PDC	400	460	98,6
Bus Station Service PDC B	400	740	99,29
Bus Turbine PDC B	400	502	100,11
Bus Water Treat. PDC B	400	1539	97,44
Coal Handling B	400	228	99,35
Coal Handling Board B	6300	4174	96,5
Unit Board B	6300	26994	97,57

f. Pembahasan

Berdasarkan data simulasi *load flow* diatas ada beberapa *criticality* peralatan Pada saat pembangkit beroperasi normal tiba-tiba mengalami gangguan generator maka pembangkit akan berhenti dengan melepas *generator circuit breaker* dan pemakaian sendiri di suplai dari GIS melalui GT menuju UAT A dan B untuk di distribusikan ke peralatan. Pada saat pembangkit mengalami pemeliharaan Generator Transformer, *Unit Auxiliary Transformer*, *Gas Insulated Switchgear* mengakibatkan kondisi pemakaian sendiri tidak ada suplai dari grid 500 KV. Kondisi pemeliharaan ini dapat diminimalisir dengan perencanaan yang akurat untuk menghindari resiko-resiko yang dapat terjadi. Pada saat pembangkit beroperasi normal tiba-tiba mengalami gangguan pada *Gas Insulated Switchgear* atau *Generator Transformer* maka secara otomatis sistem pemakaian Sendiri akan terputus karena ketiga transformator terhubung dalam satu *bus bar* terlihat pada Gambar diatas jadi untuk pemakaian sendiri di-*back up* dengan mengoperasikan *emergency diesel generator* untuk mensuplai beban-beban peralatan essential seperti sistem pelumasan dan penerangan sedangkan peralatan sistem pendinginan tidak ter-*back up* sama sekali, sesuai dengan komparasi[1],[4].

Kondisi seperti ini juga dialami pada saat terjadinya gangguan pada *Unit Auxiliary Transformer A* atau *Unit Auxiliary Transformer B* untuk mengatasi hal tersebut maka pemasangan *Circuit Breaker* pada masing-masing *incoming Unit Auxiliary Transformer*. Karena aliran daya dari generator masih tetap mengalir ke pemakaian sendiri melewati *Unit Auxiliary Transformer B* atau *Unit Auxiliary Transformer A* menuju ke beban-beban peralatan. Dengan kondisi seperti ini pembangkit masih tetap beroperasi tetapi untuk kapasitas daya yang dikeluarkan generator tidak dapat beroperasi pada daya maksimal hanya beroperasi dengan setengah daya maksimal karena jumlah peralatan yang beroperasi disesuaikan dengan kapasitas *Unit Auxiliary Transformer*. Sedangkan pada saat terjadinya pemeliharaan *Unit Auxiliary*

ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

Transformer A atau *B* suplai untuk pemakaian sendiri masih dapat beroperasi dengan memutuskan salah satu *Circuit Breaker Unit Auxiliary Transformer* yang dipelihara dan kegiatan pemeliharaan bisa dilakukan secara bergantian.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari hasil simulasi *load flow* sistem pemakaian sendiri PLTU Adipala menggunakan software ETAP 12.6, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Pada saat pembangkit beroperasi normal mengirim ke sistem 500 KV dengan beban 585,028 MW didapat beban pemakaian sendiri pada UAT A sebesar 24,780 MW dan UAT B sebesar 27,506 MW. Gangguan GT, UAT, GIS ketika pembangkit beroperasi secara normal dapat mengakibatkan rusaknya beberapa peralatan karena semua sistem berhenti secara seketika terutama sistem pendinginan.
- Pemeliharaan GT, UAT, GIS mengakibatkan kondisi pemakaian sendiri terputus dari grid 500 KV. kondisi seperti ini dapat diminimalisir dengan perencanaan yang akurat untuk menghindari resiko-resiko yang dapat terjadi.
- Beroperasinya EDG pada saat gangguan cukup membantu dalam mem-back up pemakaian sendiri tetapi ada beberapa peralatan tidak ter-back up seperti sistem pendinginan yaitu circulating water pump dapat mengakibatkan kerusakan kondensor dan close cooling circulating water pump yang dapat mengakibatkan kerusakan kompresor, lube oil, dan peralatan bantu lainnya, penambahan circuit breaker pada masing-masing incoming UAT sangat membantu ketika terjadi gangguan atau pemeliharaan UAT. Karena aliran daya dari generator masih tetap mengalir ke pemakaian sendiri melewati UAT B atau UAT A menuju ke beban-beban peralatan.

5.2. Saran

Adapun saran untuk meningkat kehandalan suplai pemakaian sendiri penelitian ini masih bisa dikembangkan antara lain :

- Pembuatan double busbar dengan menambahkan saluran dan transformator baru dari generator menuju GIS untuk mengatasi gangguan GT;
- Pemindahan tapping dan/atau penambahan kapasitas EDG untuk mengatasi gangguan GIS.

Referensi

- [1] Effendi. Asnal, Yuana Dewi, 2017, Evaluasi Daya Pemakaian Sendiri Pada PLTU Ombilin Dengan Modifikasi Line Kelistrikan Unit Untuk Mengantisipasi Gangguan (Maintenance Station Service Transformer), dalam Jurnal Teknik Elektro Vol. 6, No. 1, Institut Teknologi Padang Indonesia.
- [2] Joio. Raswi, Teori Dasar Genset Generator di <https://www.academia.edu/9519755/45253345-Teori-dasar-Genset-Generator-set> (akses 7 Agustus 2019).
- [3] Kusumandaru. Darma, 2015, Generator Pembangkit Listrik di <http://kusumandarutp.blogspot.com/2015/06/generator-pembangkit-listrik.html> (akses 7 Agustus 2019) .
- [4] Maulana. Alief , Didik Aribowo, Chandra Arief, 2015, Analisis Catu Daya Sistem Transformator Pemakaian Sendiri pada SST dan UST, dalam Jurnal Teknik Vol. 4, No.1, Universitas Muhammadiyah Tangerang.
- [5] Murdani. Erwin, et.al, 2014, Pemeliharaan Listrik Pembangkit, Suralaya : PLN corporate university.
- [6] Putri. Cahyati, ETAP (Electric Transient and Analysis Program) Power Station di https://www.academia.edu/28773819/tentang_ETAP_Electric_Transient_and_Analysis_Program_Power_Station (diakses 8 Agustus 2019).

ITEKS

Intuisi Teknologi Dan Seni

- [7] Rakhman. Alief, 2013, Fungsi dan Prinsip Kerja PLTU di <https://rakhman.net/power-plants-id/fungsi-dan-prinsip-kerja-pltu/> (akses 7 Agustus 2019).
- [8] Stevenson, Jr., Wiliiam D., 1993, Analisis Sistem Tenaga Listrik, edisi terjemahan keempat, Jakarta : Erlangga.
- [9] _____ Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, 2014, Jakarta: PT PLN (Persero).
- [10] Yusran. SN, 2018, Studi Kebutuhan Energi Listrik Untuk Starting PLTU Pada PT. Rimba Raya Lestari (skripsi). Samarinda: Politeknik Negri Samarinda.