

Evaluasi Daya Pemakaian Sendiri Pada PLTU Ombilin Dengan Modifikasi *Line* Kelistrikan Unit Untuk Mengantisipasi Gangguan (*Maintenance Station Service Transformer*)

Asnal Effendi*, Efrizan, Arfita Yuana Dewi

Institut Teknologi Padang, Padang

E-mail: asnal.effendi@gmail.com

ABSTRACT

Ombilin availability of electricity generation potential effects of electricity in the region of Central and South Sumatra. In addition, the availability of electricity will affect the level of reliability of the unit. Currently, maintenance / disorders of the transformer SST (Station Service Transformer) resulted in both power plant unit cannot operate due to unavailability of electricity supply some critical equipment as a condition for the continued operation of the unit. By modifying the electrical line unit, some important equipment obtains power supply from other sources. After modification, the second unit can still operate when the transformer SST undergo maintenance / disorder. The assessment was done in the form of theoretical studies, engineering studies and economic studies. The results of the study theoretical simulations show after modification line, the power flow is in a normal state. The flow of power through the transformer UAT1 (Auxiliary Unit Transformer 1) into MVA 12.926 and 11.791 MVA transformer UAT2 be under normal circumstances. These losses can be prevented by this modification is Rp. 910 million/day and firing costs about 465 million.

Keywords: SST, UAT, line, firing

ABSTRAK

Ketersediaan listrik pembangkit Ombilin sangat mempengaruhi kondisi listrik di wilayah Sumatera Bagian Tengah dan Selatan. Selain itu juga, ketersediaan listrik akan mempengaruhi tingkat keandalan unit. Saat ini, pemeliharaan/gangguan pada trafo SST (*Station Service Transformer*) mengakibatkan kedua unit PLTU tidak dapat beroperasi karena tidak tersedianya suplai listrik beberapa peralatan penting sebagai syarat tetap beroperasinya unit. Dengan melakukan modifikasi *line* kelistrikan unit, beberapa peralatan penting tersebut memperoleh suplai listrik dari sumber lain. Setelah melakukan modifikasi, kedua unit tetap dapat beroperasi ketika trafo SST mengalami pemeliharaan/gangguan. Pengkajian dilakukan berupa kajian teoritis, kajian teknik dan kajian ekonomis. Hasil kajian teoritis secara simulasi menunjukkan setelah modifikasi *line*, aliran daya masih dalam keadaan normal. Aliran daya melalui trafo UAT1 (*Unit Auxiliary Transformer 1*) menjadi 12,926 MVA dan trafo UAT2 menjadi 11,791 MVA dalam keadaan normal. Kerugian yang dapat dicegah dengan modifikasi ini ialah Rp. 910 juta/hari dan biaya *firing* sekitar 465 juta.

Kata kunci: SST, UAT, jaringan, *firing*

1. PENDAHULUAN

Ombilin terdiri dari dua unit pembangkit sebesar 2 x 100 MW. Daya listrik yang dihasilkan terkoneksi dengan jaringan 150 kV Batu Sangkar melalui trafo 11.5/150 kV. Sistem jaringan 150 kV merupakan sistem jaringan dua saluran (*double busbar*).

Selain disalurkan ke sistem jaringan, daya yang dihasilkan juga dipakai untuk kebutuhan sendiri dimana daya disalurkan melalui trafo 11.5 kV/6.5 kV (UAT). Untuk pembebanan sendiri, PLTU juga memiliki saluran daya dari sistem jaringan melalui trafo 150 kV/6.5 kV (SST).

Sistem SST berfungsi menyuplai listrik pada peralatan-peralatan esensial (peralatan yang dipergunakan untuk kedua unit atau beroperasi saat unit *trip/firing*). Sehingga ketika unit mengalami gangguan maka suplai untuk alat-alat esensial tetap dapat dipenuhi.

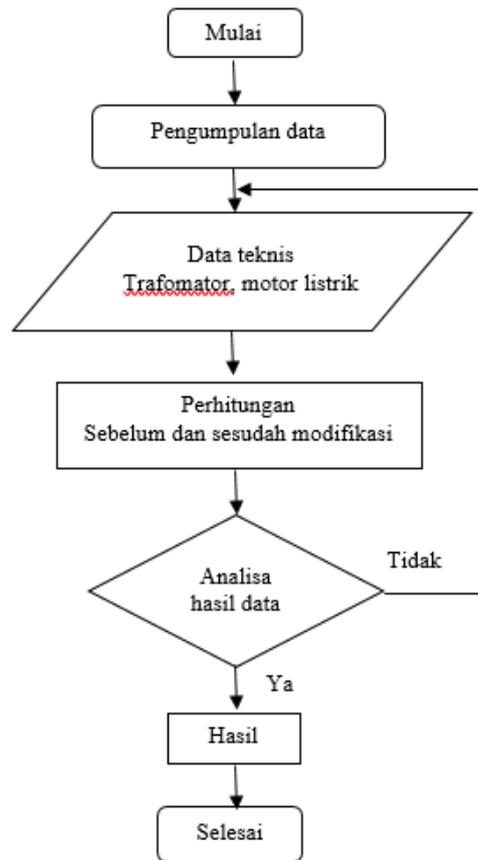
Permasalahan yang timbul ketika terjadi gangguan atau perbaikan pada trafo SST ialah kedua

unit pembangkit PLTU Ombilin harus berhenti. Hal ini mengakibatkan sistem kehilangan daya sebesar 200 MW selama beberapa waktu. Kehilangan daya ini akan berdampak terhadap pemadaman listrik di beberapa tempat dan kerugian finansial akibat tidak beroperasinya unit.

Terjadinya pemadaman ketika terjadi perbaikan/*maintenance* trafo SST disebabkan:

- Tidak terdapatnya suplai listrik untuk beberapa peralatan esensial sebagai syarat beroperasinya unit,
- Tidak adanya desain sistem *interlock* untuk mengantisipasi gangguan trafo SST,
- Jumlah trafo SST yang hanya satu unit, sehingga tidak memiliki *backup* ketika trafo mengalami gangguan (*maintenance*).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan modifikasi sistem distribusi listrik peralatan-peralatan kedua unit. Modifikasi dilakukan



Gambar 1 Flowchart alur penelitian

agar peralatan-peralatan yang esensial sebagai syarat beroperasinya kedua unit dapat disuplai dari trafo UAT. Mekanisme modifikasi dilakukan dengan memanfaatkan panel *spare* yang terdapat pada trafo UAT kedua unit.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem tenaga listrik adalah salah satu sarana untuk mengubah dan menyalurkan tenaga dari suatu bentuk ke bentuk lainnya, baik energi terbarukan maupun energi yang tidak terbarukan.

Menurut Afandi (2010), sistem tenaga listrik terdiri dari 4 komponen utama yaitu: sistem pembangkitan, sistem transmisi, sistem distribusi dan beban. Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk menentukan parameter-parameter yang ada dalam sistem tenaga listrik. Sebelum studi aliran daya ini dilakukan, sistem yang dianalisis harus terlebih dahulu direpresentasikan dengan suatu diagram pengganti.

Persoalan-persoalan pokok yang terdapat dalam sistem tenaga listrik adalah: aliran daya, operasi ekonomik, hubung singkat, kestabilan peralihan, pengaturan daya aktif dan pengaturan daya reaktif, frekuensi, tegangan, dan pengaturan beban. Dilihat dari batasan waktu, persoalan diatas dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok keadaan, yaitu:

keadaan mantap, keadaan peralihan, dan keadaan sub-peralihan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 1 merupakan *flowchart* metode evaluasi daya pemakaian sendiri pada PLTU Ombilin dengan modifikasi *line* kelistrikan unit mengantisipasi gangguan menggunakan program ETAP.

4. PEMBAHASAN

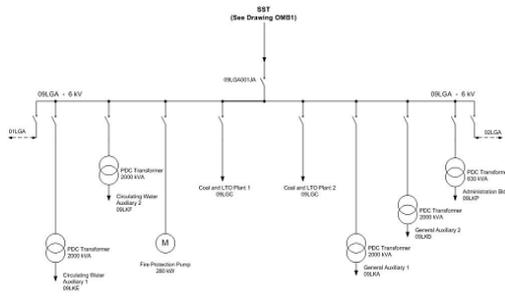
4.1 Prinsip Kerja

Kebutuhan listrik peralatan-peralatan unit pada PLTU Ombilin disuplai melalui dua sumber utama, yaitu:

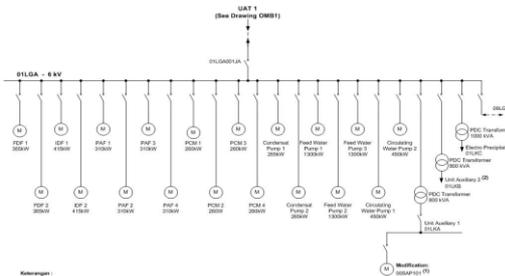
- 1) Saluran sistem 150 kV melalui trafo SST,
- 2) Daya listrik hasil produksi unit sendiri yang disuplai melalui trafo UAT.

Peralatan-peralatan yang disuplai melalui trafo SST seperti terlihat pada gambar 2 yakni: *circulating water auxiliary 1, circulating water auxiliary 2, coal and lto plant 1, coal and lto plant 2, general auxiliary 1, general auxiliary 2, administration building, dan fire protection pump.*

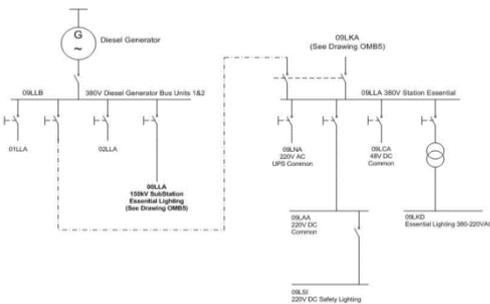
Daya listrik hasil produksi unit sendiri disuplai melalui trafo UAT. Peralatan-peralatan yang disuplai melalui trafo UAT (bus 01LGA dan 02LGA) antara



Gambar 2 Single line diagram SST dari saluran transmisi 150 kV melalui trafo SST



Gambar 3 Single line diagram UAT



Gambar 4 Diesel generator

lain: *forced draft fan, induced draft fan, primary air fan, feed water pump, circulating water pump, unit auxiliary 1,2, electro precipiator, pulverized, dan condensat pump*, seperti ditunjukkan pada gambar 3.

Selain penyuplai utama di atas terdapat sebuah generator diesel seperti pada gambar 4, berfungsi untuk menyuplai peralatan-peralatan esensial, yakni peralatan yang harus tetap beroperasi ketika unit mengalami gangguan/pemadaman dan *firing*.

Untuk beberapa peralatan juga terdapat dua sumber suplai listrik yang di-*interlock* oleh relay. Sebagai contoh adalah *feeder* 01LGA yang disuplai dari trafo UAT dan SST. Ketika unit *firing*, suplai listrik untuk peralatan-peralatan di *feeder* 01LGA akan disuplai melalui trafo SST. Setelah unit telah menghasilkan listrik, maka suplai akan dialihkan melalui trafo UAT.

4.2 Persyaratan Unit Operasi

Pada dasarnya peralatan-peralatan listrik yang

terdapat di unit berfungsi untuk memperlancar kegiatan PLTU Ombilin berupa operasi pembangkitan listrik, penerangan, suplai peralatan bantu dan administrasi. Peralatan-peralatan yang harus disuplai sebagai syarat kedua unit dapat beroperasi ialah:

- Peralatan-peralatan yang terdapat pada Bus 01LGA (melalui trafo UAT1)
- Peralatan-peralatan yang terdapat pada Bus 02LGA (melalui trafo UAT2)
- Peralatan-peralatan yang terdapat pada *feeder* 09LKE (melalui trafo SST)
- Peralatan-peralatan yang terdapat pada *feeder* 09LKF (melalui trafo SST)
- Peralatan-peralatan yang terdapat pada *feeder* 09LLA (*UPS*, baterai)
- Kompresor
- *Fuel Oil Pump*
- Peralatan-peralatan dari salah satu *Coal dan Fuel Plant Feeder*

4.3 Kondisi Unit

Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, terdapat beberapa peralatan yang merupakan syarat tetap beroperasinya kedua unit dan disuplai melalui trafo SST. Apabila trafo SST sedang mengalami gangguan akan mengakibatkan tidak beroperasinya kedua unit. Kejadian ini pernah terjadi di PLTU Ombilin pada bulan Oktober 2009, dimana kedua unit tidak beroperasi selama tiga hari karena dilaksanakannya pergantian *gasket bushing* dan penambahan minyak isolasi pada trafo SST.

4.4 Modifikasi Line kelistrikan Unit

Untuk mempertahankan beroperasinya kedua unit, perlu dilakukannya modifikasi sumber listrik untuk peralatan-peralatan penting yang masih disuplai melalui trafo SST.

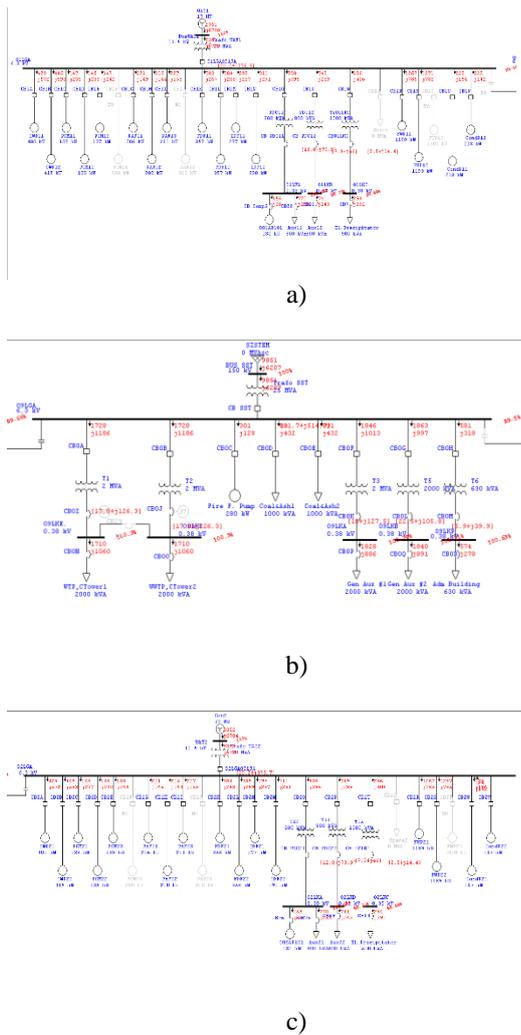
4.4.1 Line Diagram Saat Ini

Berikut *line diagram* distribusi listrik saat ini dapat dilihat pada gambar 5 menggunakan *software simulator ETAP Powerstation*,

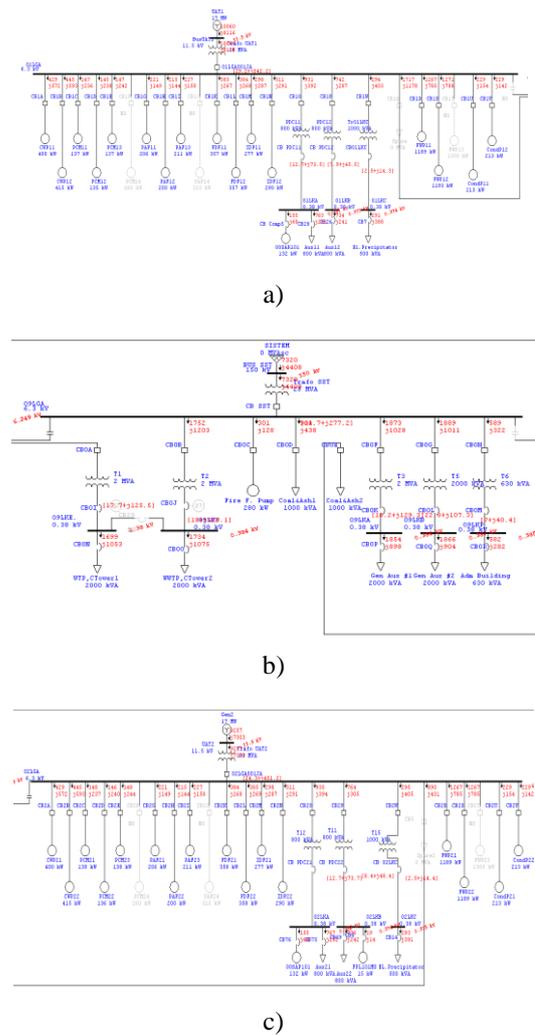
Asumsi desain

- Beban yang diketahui datanya beroperasi pada beban unit 100 MW
- Beban yang data operasinya tidak diketahui diasumsikan beroperasi pada kemampuan daya maksimal
- Parameter alat yang dibutuhkan simulator diasumsikan sesuai standar ETAP (bagi peralatan yang tidak diketahui parameternya).

Gambar 5a dan c adalah *single line diagram* UAT1, UAT2 saat ini. Daya listrik produksi unit sendiri dipakai untuk pemakaian unit menjalankan



Gambar 5 Single line diagram PLTU Ombilin; a) UAT1
b) SST; c) UAT2



Gambar 6 Single line diagram PLTU Ombilin setelah modifikasi; a) UAT1; b) SST; c) UAT2

peralatan-peralatan penting pada unit PLTU agar tetap beroperasi. Hasil simulasi menggunakan ETAP dengan data-data yang diperoleh bahwa suplai total yang dibutuhkan peralatan unit 1 dan 2 masing-masing adalah: 8387 kW + 6718 kVar = 10,745 MVA, dengan kapasitas trafo UAT ialah 20 MVA. Sehingga, trafo masih memiliki kapasitas lebih sebesar: $(20,000 - 10,745) \text{ MVA} = 9,255 \text{ MVA}$ (46% dari kapasitas maksimum trafo).

Gambar 5b adalah single line diagram SST saat ini, pemakaian listrik dari sistem luar unit untuk menjalankan peralatan-peralatan unit PLTU tetap beroperasi, dari hasil simulasi menggunakan ETAP di peroleh total yang di butuhkan pada SST adalah: 9851 kW + 6207 kVar = 11,64 MVA, dengan Kapasitas trafo SST ialah 25 MVA.

4.4.2 Rencana Modifikasi Line

Modifikasi line dilakukan pada peralatan penting yang masih disuplai melalui trafo SST dan tidak memiliki back up.

1. Suplai listrik untuk peralatan pada feeder 09LKE dialihkan melalui spare yang terdapat pada Bus 01LGA. Untuk feeder 09LKF tidak perlu dialihkan karena sudah memiliki interlock dengan feeder 09LKE, sehingga apabila trafo SST tidak menyuplai listrik, suplai akan dialihkan secara otomatis melalui feeder 09LKE yang sudah disuplai melalui bus 01LGA,
2. Suplai listrik untuk 09 LGC #2 (Coal dan Fuel Plant feeder) dialihkan melalui spare yang terdapat pada bus 02LGA,
3. Suplai listrik untuk fuel oil pump pada bus 09LKA dialihkan melalui spare yang terdapat pada bus 02LKB (380 v).

Pada gambar 6 dapat dilihat line diagram distribusi listrik hasil modifikasi disimulasikan dengan menggunakan software ETAP.

Gambar 6a adalah single line diagram UAT 1 setelah dilakukan modifikasi dengan melakukan penambahan line pada spare yang terdapat pada Bus

01 LGA ke *feeder* 09LKE untuk *feeder* 09LKF tidak perlu dialihkan karena sudah memiliki *interlock* dengan *feeder* 09 LKE, melalui simulasi pada software ETAP diperoleh data bahwa daya yang disuplai oleh Trafo UAT1 12,926 MVA (65% kapasitas trafo).

Gambar 6b adalah *single line diagram* SST setelah dilakukan modifikasi pada peralatan-peralatan sarat untuk unit PLTU harus tetap beroperasi, hasil simulasi daya yang di suplai melalui trafo SST 8,54 MVA (34 % kapasitas trafo).

Gambar 6c adalah *single line diagram* UAT 2 setelah dilakukan modifikasi dengan melakukan penambahan line pada *spare* yang terdapat pada Bus 02 LGA ke *feeder* 09 LGC dan suplai listrik untuk *fuel oil pump* pada bus 09 LKA dialihkan melalui *spare* yang terdapat pada bus 02 LKB (380 v) dengan melakukan simulasi di peroleh data *load flow* pada desain baru daya yang di suplai oleh Trafo UAT2 11,791 MVA (59% kapasitas trafo).

Pemakaian sendiri pada PLTU ombilin sebelum dan sesudah modifikasi dapat dilihat pada tabel 1.

4.5 Simulasi di Beberapa Kondisi

4.5.1 Keadaan *Firing*

Pada saat kedua unit *firing*, suplai listrik hanya diperoleh melalui trafo SST. Sesuai dengan desain

awal listrik unit, bahwa terdapat *interlock* antara bus 09LGA (bus trafo SST) dengan 01LGA (bus trafo UAT1) dan 09LGA dengan 02LGA (bus trafo UAT2). Sehingga peralatan pada bus UAT dapat disuplai melalui trafo SST sampai trafo UAT dialiri arus (unit menghasilkan listrik). Dengan demikian suplai peralatan-peralatan yang harus beroperasi pada saat *firing* masih tetap ada setelah modifikasi.

4.5.2 Keadaan SST Tidak Operasi

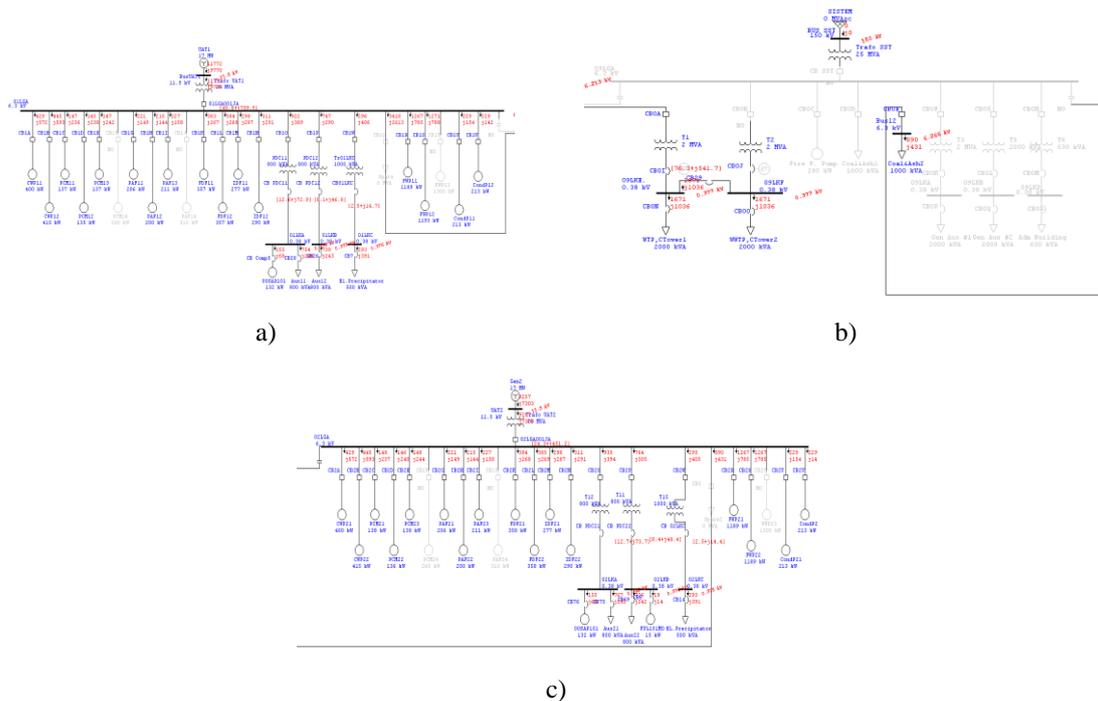
Pada saat trafo SST sedang mengalami gangguan dapat dilihat pada gambar 7 bahwa peralatan-peralatan penting sebagai syarat unit tetap beroperasi masih memiliki suplai listrik.

- 1 Untuk *feeder* 09LKF akan disuplai melalui *feeder* 09LKE yang telah dialihkan melalui bus 01LGA.
- 2 Untuk suplai *coal and ash plant* disuplai melalui *line coal and ash plant feeder* yang telah dialihkan melalui bus 02LGA.

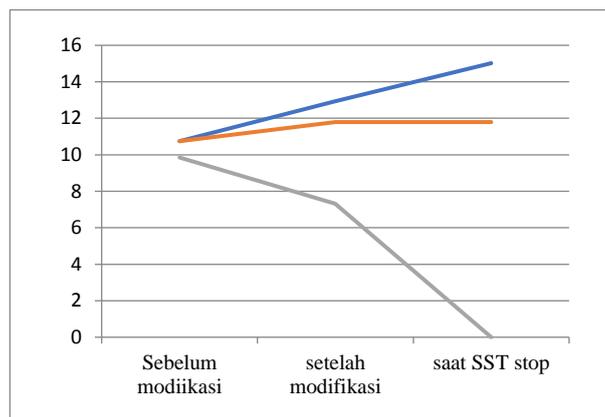
Untukantisipasi gangguan suplai batubara, menggunakan pompa HSD (FPL) yang suplainya telah dialihkan melalui bus 02LKB. Kemampuan debit HSD pompa ialah ± 12.000 l/jam. Gangguan 1 mill mengakibatkan komsumsi HSD sebanyak ± 5000 l/jam.

Tabel 1 Pemakaian sendiri PLTU Ombilin sebelum dan sesudah modifikasi *line* kelistrikan unit

NO	Peralatan	Sebelum Modifikasi						Setelah Modifikasi					
		Unit 1		Unit 2		SST		Unit 1		Unit 2		SST	
		kV	kW	kV	kW	kV	kW	kV	kW	kV	kW	kV	kW
1	Transformator	11.5	8387	11.5	8387	150	9851	11.5	10060	11.5	9257	150	7320
2	PAF A	6.3	206	6.3	206			6.3	206	6.3	206		
3	PAF B	6.3	200	6.3	200			6.3	200	6.3	200		
4	PAF C	6.3	211	6.3	211			6.3	211	6.3	211		
5	PAF D	6.3	210	6.3	210			6.3	210	6.3	210		
6	PCM A	6.3	137	6.3	138			6.3	137	6.3	138		
7	PCM B	6.3	135	6.3	136			6.3	135	6.3	136		
8	PCM C	6.3	137	6.3	138			6.3	137	6.3	138		
9	PCM D	6.3	140	6.3	140			6.3	140	6.3	140		
10	FCA 1	6.3	357	6.3	358			6.3	357	6.3	358		
11	FCA 2	6.3	357	6.3	358			6.3	357	6.3	358		
12	FTA 1	6.3	277	6.3	277			6.3	277	6.3	277		
13	FTA 2	6.3	290	6.3	290			6.3	290	6.3	290		
14	CWP 1	6.3	400	6.3	400			6.3	400	6.3	400		
15	CWP 2	6.3	415	6.3	415			6.3	415	6.3	415		
16	FWP 1	6.3	1189	6.3	1189			6.3	1189	6.3	1189		
17	FWP 2	6.3	1193	6.3	1193			6.3	1193	6.3	1193		
18	FWP 3	6.3	1300	6.3	1300			6.3	1300	6.3	1300		
19	COP 1	6.3	213	6.3	213			6.3	213	6.3	213		
20	COP 2	6.3	213	6.3	213			6.3	213	6.3	213		
21	Trafo LKA	0.38	146	0.38	146			0.38	146	0.38	146		
22	Trafo LKB	0.38	135	0.38	135			0.38	135	0.38	135		
23	Trafo LKC	0.38	64	0.38	64			0.38	64	0.38	64		
24	Trafo 09 LKE					0.38	454	0.38	454				
25	Trafo 09 LKF					0.38	116	0.38	116				
26	Coal & Ash 1					6	1000			6	1000		
27	Coal & Ash 2					6	1000			6	1000		
28	Trafo 09 LKA					0.38	145					0.38	145
29	Trafo 09 LKB					0.38	197					0.38	197
30	Trafo09 LKP					0.38	22					0.38	22
31	Fire F.P					6.3	280					6.3	280



Gambar 7 Distribusi listrik saat trafo SST tidak operasi, a) UAT1; b) SST; c) UAT2



Gambar 8 Grafik hasil simulasi daya trafo UAT1, UAT2, dan SST

Gambar 7a merupakan *single line diagram* UAT 1 setelah modifikasi pada *feeder* 09LKF akan disuplai melalui *feeder* 09LKE yang telah dialihkan melalui bus 01LGA, disimulasikan pada saat trafo SST tidak operasi, hasil simulasi dimana daya yang disuplai trafo UAT 1 menjadi 15,020 MVA (75% kapasitas trafo).

Gambar 7b adalah *single line diagram* SST disimulasikan saat trafo SST tidak operasi, peralatan-peralatan yang sudah dimodifikasi masih tetap beroperasi karena disupai dari UAT 1 dan UAT 2.

Pada gambar 7c merupakan *single line diagram* UAT 2 setelah modifikasi pada suplai *coal and ash plant* disuplai melalui *line coal and ash plant feeder* yang telah dialihkan melalui bus 02LGA, disimulasikan pada saat trafo SST tidak operasi, hasil

simulasi dimana daya yang disuplai trafo UAT 2 menjadi 11,791 MVA (59% kapasitas trafo).

Pada gambar 8 ditunjukkan grafik hasil simulasi daya trafo UAT1, UAT2 dan SST, dimana UAT1 sebelum modifikasi 10,745 MVA (46 % dari kapasitas maksimum trafo), sesudah modifikasi 12,926 MVA (65 % dari kapasitas maksimum trafo) dan saat SST stop daya UAT1 menjadi 15,020 MVA (75 % dari kapasitas maksimum trafo) kapasitas trafo UAT1 adalah 20 MVA dengan melakukan modifikasi trafo UAT1 masih mampu beroperasi.

Sedangkan UAT2 sebelum modifikasi 10,745 MVA (46 % kapasitas trafo), sesudah dilakukan modifikasi menjadi 11,791 MVA (59 % kapasitas trafo), dan saat SST stop hasil simulasi menjadi 11,791 MVA, kapasitas trafo UAT2 adalah 20 MVA

dengan adanya modifikasi trafo UAT2 masih mampu menyuplai daya listrik. Hasil simulasi pada SST sebelum modifikasi 11,64 MVA yakni 47% dari kapasitas trafo SST 25 MVA, setelah modifikasi daya trafo menjadi 8,54 MVA (34 % kapasitas trafo) dan saat ada gangguan atau pemeliharaan pada SST yang mengakibatkan SST tidak beroperasi, PLTU Ombilin unit 1 dan 2 tetap beroperasi menghasilkan listrik tanpa harus di *stop* untuk beroperasi.

Ada dua manfaat yang dapat diperoleh dari modifikasi suplai listrik kedua unit ini, yaitu manfaat finansial dan manfaat non finansial.

1. Manfaat Finansial

Manfaat yang diperoleh secara finansial adalah mencegah terjadinya kehilangan penjualan produksi listrik akibat *trip*-nya kedua unit karena kehilangan suplai listrik.

Besarnya kerugian secara finansial apabila PLTU Ombilin tidak beroperasi dalam satu hari akibat kehilangan suplai listrik melalui trafo SST, dengan parameter operasi PLTU Ombilin tahun 2009:

- Daya disalurkan : 907.386.676 kWh
- Biaya total : Rp. 429.801.066.700,00
- Biaya produksi/kWh : Rp 473/kWh
- Daya rata-rata 2 unit/hari : 4080 MWh/hari
- Biaya produksi kWh/hari : Rp 1,930 miliar
- Harga jual kWh/per hari : Rp 2,840 miliar
- Selisih biaya produksi : Rp. 910 juta
- Komsumsi *firing*/unit : 35.000 liter HSD
- Biaya *firing* 2 unit : Rp 465 juta

Jadi kerugian finansial yang bisa dicegah dengan adanya modifikasi ini dengan asumsi PLTU tidak beroperasi ialah Rp. 910juta/hari dan biaya *firing* kedua unit Rp. 465 juta.

2. Manfaat non-Finansial

Manfaat yang diperoleh secara non-finansial adalah:

- Meningkatkan keandalan operasional PLTU Ombilin,
- Memudahkan pemeliharaan trafo SST,
- Mengantisipasi pemadaman listrik yang akan mengganggu aktifitas masyarakat,
- Mengurangi resiko kerusakan peralatan,

- Meningkatkan citra perusahaan di mata pelanggan.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari pembahasan di atas adalah:

- 1) Dengan desain saat ini, apabila terjadi gangguan/*maintenance* pada trafo SST maka kedua unit tidak dapat beroperasi karena beberapa peralatan penting tidak memperoleh suplai listrik. Setelah dilakukan modifikasi, unit tetap dapat beroperasi saat karena suplai listrik peralatan penting tetap ada.
- 2) Sistem kelistrikan unit masih normal setelah dilakukan modifikasi *line* berdasarkan hasil simulasi menggunakan *ETAP*, sebelum modifikasi trafo UAT unit 1 dan 2 yaitu 54% dari kapasitas trafo, setelah modifikasi pembebanan pada trafo UAT 65% kapasitas trafo, dan trafo UAT 2 59% dari kapasitas trafo. Sedangkan saat SST tidak operasi trafo UAT 1 75% dari kapasitas trafo.
- 3) Modifikasi dapat mencegah kerugian finansial Rp 910 juta/hari dan biaya *firing (cool)* kedua unit Rp. 465 juta apabila terjadi gangguan/*maintenance* pada trafo SST. Selain itu, modifikasi juga memberi manfaat *non-finansial* bagi PLN dan masyarakat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hasyim. 2009. "*Analisis aliran daya listrik di PT. Sinar Sosro Ungaran*". Skripsi. Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang.
- [2] Ruswandi, Djalal M. 2012. "*Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik*". http://energi08pnup.blogspot.com/2012/08/AliranDaya_Sistem_Tenaga_Listrik.html
- [3] Jusmedy, F. 2007. "*Studi aliran daya sistem 115 KV PT. Chevron Pacific Indonesia*". Skripsi. Medan: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara
- [4] Operation Manual, Daftar Panel Listrik Sistem Tenaga 6 KV dan 380 Volt, Dokumen PT. PLN (Persero) Sektor Pembangunan Ombilin, 1995.
- [5] Operation Manual, *Electrical System*, Dokumen PT PLN (Persero) Sektor Ombilin, 1995.
- [6] Operation Manual, Daftar Panel Listrik Sistem Tenaga 6 KV dan 380 Volt, Dokumen PT. PLN (Persero) Sektor Pembangunan Ombilin, 1995.
- [7] Suwarno, 2006 *Diktat Kuliah Teknik Isolasi*. Bandung: ITB Pres