

Alternatif Back Feeding Dengan Instalasi Kabel 20 kV Pada Auxiliary Transformer Analisis Biaya (Menggunakan Etap)

Rio Afrianda^{1*)}; Setianto Rama Putra²

1. Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia
2. Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Coblong, Bandung, Jawa Barat 40132, Indonesia

^{*)}Email: rio@itpln.ac.id

Received: 20 Agustus 2023 | Accepted: 29 Januari 2024 | Published: 29 Januari 2024

ABSTRACT

In order to actualize the 35,000 MW government program, the JAWA 2 Combined Cycle Power Plant (PLTGU) is built, with a power capacity of 800 MW and distributed through a 500 kV interconnection system located in the PLTGU Tanjung Priok area, North Jakarta. This project has several stages before the operation such as planning, construction and testing/commissioning. In testing period, the electricity required for testing the equipment is supplied from the existing power grid or also known as back feeding. One of the alternatives for back feeding PLTGU Jawa 2 is to use electricity from the 20 kV GIS 150 kV cubicle of Priok Timur Lama, this method has the potential of delays if the installation of the 20 kV cable connection that supplies the auxiliary transformer unit is not carried out properly. The 20 kV cable connected to the auxiliary transformer bushing unit will experience cable stress if the bending radius of the cable in connecting the 20 kV cable to the auxiliary transformer bushing unit is not taken into account. From these constraints a study can be carried out on the installation design of the 20 kV cable connection that supplies the auxiliary transformer unit. moreover, a study to determine of the type of 20 kV cable is also necessary so that the power source can be optimally distributed to the equipment to be tested. With this study, the back feeding can proceed according to a predetermined schedule and any issue during the back feeding test can be anticipated beforehand.

Keywords: Back Feeding, Unit Auxiliary Transformer, 20 kV Cable

ABSTRAK

Dalam rangka mewujudkan program pemerintah 35000 MW dilakukan pembangunan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Jawa 2, kapasitas daya sebesar 800 MW dengan sistem interkoneksi 500 kV yang terletak di daerah PLTGU Tanjung Priok Jakarta Utara. Pada PLTGU Jawa 2 dalam pelaksanaannya terdapat beberapa tahapan sebelum dilakukan pengoperasian pembangkit seperti tahapan konstruksi dan pengujian/ komisioning. Dalam pengujian peralatan, kebutuhan listrik menggunakan sumber daya listrik dari jaringan eksisting milik PT PLN atau disebut juga dengan back feeding. Salah satu alternatif back feeding PLTGU Jawa 2 adalah dengan menggunakan sumber daya listrik dari kubikel 20 kV GIS 150 kV Priok Timur Lama, cara ini berpotensi mengalami keterlambatan apabila instalasi penyambungan kabel 20 kV yang menyuplai unit auxiliary transformer tidak dilakukan dengan benar. Kabel 20 kV yang terhubung dengan bushing unit auxiliary transformer akan mengalami stress cable jika nilai bending radius kabel dalam penyambungan kabel 20 kV ke bushing unit auxiliary transformer tidak diperhatikan. Dari kendala tersebut dapat dilakukan kajian mengenai perancangan instalasi penyambungan kabel 20 kV yang menyuplai unit auxiliary transformer. Selain itu, kajian mengenai penentuan jenis kabel 20 kV yang akan digunakan juga diperlukan agar sumber daya listrik dapat tersalurkan ke peralatan yang akan dilakukan pengujian secara optimal. Dengan dilakukan kajian tersebut pelaksanaan back feeding

dapat berjalan sesuai jadwal yang telah ditentukan dan kendala saat pelaksanaan pengujian back feeding dapat di antisipasi sebelumnya.

Kata kunci: *Back Feeding, Unit Auxiliary Transformer, kabel 20 kV*

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka mewujudkan program pemerintah mengenai percepatan pembangunan pembangkit listrik 35.000 MW maka dilakukan pembangunan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap Jawa-2 dengan kapasitas daya sebesar 1 x 800 MW yang terletak di daerah PLTGU Tanjung Priok Jakarta Utara. PLTGU Jawa-2 akan memasok listrik ke sistem interkoneksi 500 kV. Proyek ini direncanakan akan selesai dalam kurun waktu 30 bulan terhitung dari Contract Effective Date pada tanggal 23 November 2016, [6], [14], [15].

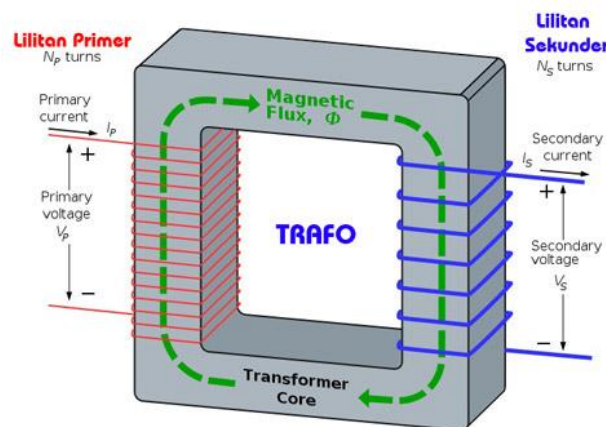
Dalam pelaksanaan proyek PLTGU Jawa-2 terdapat beberapa tahapan seperti tahapan konstruksi dan pengujian (komisioning). Dalam masa konstruksi, terdapat pengujian peralatan atau back feeding sebelum peralatan dioperasikan. Back Feeding merupakan pengiriman energi listrik dari jaringan eksisting milik PLN menuju sistem kelistrikan pembangkit listrik untuk tujuan melakukan pengujian peralatan bantu pembangkit listrik seperti motor, pompa, dan turning test. Pada proyek PLTGU Jawa-2, Back Feeding menggunakan sumber daya listrik dari Inter Bus Transformer (IBT) sistem 500/150 kV, akan tetapi dikarenakan terjadi keterlambatan dalam pemasangan Inter Bus Transformer (IBT) maka diperlukan alternatif sumber daya listrik yang lain. Kajian alternatif back feeding sudah ditetapkan sebelumnya yaitu menggunakan sumber daya listrik dari panel 20 kV yang terletak di GIS 150 kV Priok Timur Lama. Sumber daya listrik ini diperoleh dari Transformator 2 GIS Priok Timur Lama dengan rating tegangan 150 kV/20 kV dan kapasitas sebesar 60 MVA dengan spesifikasi PMT diketahui arus maksimal sebesar 630 Ampere pada setiap panelnya. Selain itu dalam kajian tersebut ditetapkan bahwa back feeding ini bersifat temporary atau hanya sementara.

Dari uraian tersebut, penulis membuat sebuah perancangan instalasi kabel 20 kV menuju Unit Auxiliary Transformer PLTGU Jawa-2 untuk melakukan back feeding.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Bushing Transformer

Prinsip kerja dari transformator menggunakan hukum Ampere dan Faraday yaitu arus dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya. Apabila kumparan pada transformator diberikan arus bolak-balik (AC) maka jumlah garis gaya magnet akan berubah, mengakibatkan transformator sisi primer akan terjadi induksi dan pada sisi sekunder akan menerima garis gaya magnet maka akan timbul induksi, akibatnya antara kedua ujung kumparan (lilitan) akan terdapat perbedaan tegangan. [2]. Diakses dari <http://merdeka.com>)

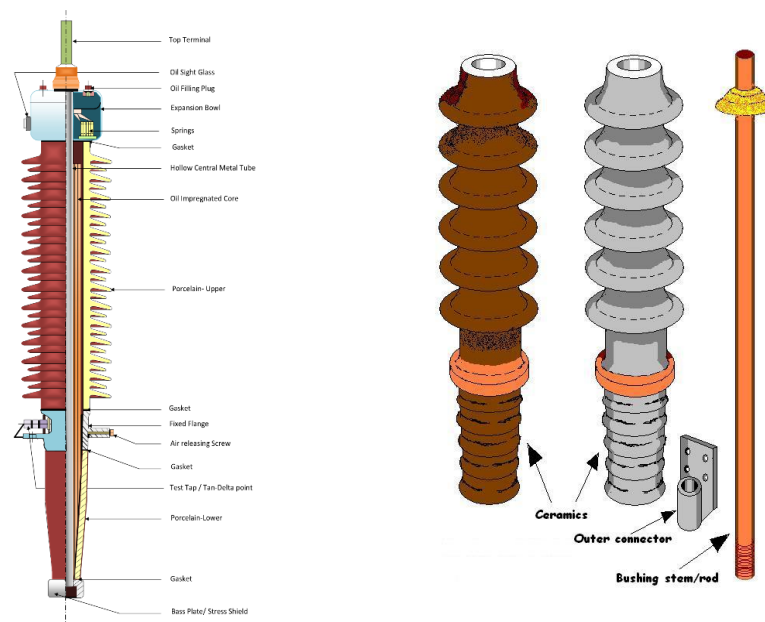


Gambar 1. Transformer (id.wikipedia.org)

Pada pusat tenaga listrik untuk daya pemakaian sendiri di lengkapi dengan transformator tenaga yang disebut Unit Auxiliary Transformer (UAT). Unit Auxiliary Transformer (UAT) merupakan transformator penurun tegangan yang digunakan untuk beban dari sistem kelistrikan pemakaian sendiri yang membutuhkan suplai listrik tegangan rendah. Pada sistem kelistrikan pusat listrik skala kecil dan menengah, suplai daya Unit Auxiliary Transformer (UAT) dapat diambil langsung dari keluaran generator [1],[13].

Sistem jaringan luar terhubung ke kumparan transformfer melalui bushing transformer. Bushing transformer merupakan konduktor yang diselubungi oleh isolator dan berfungsi juga sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan tangki transformfer [3]. Dasar Tenaga Listrik. Bandung, Penerbit ITB.) Bushing transformer terdiri dari isolasi (oil impregnated paper), konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi dengan tipe oil impregnated paper yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi. Terdapat tiga jenis konduktor yaitu hollow conductor, konduktor pejal dan konduktor flexible lead. Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara stud bushing dengan konduktor penghantar diluar bushing [3]. Dasar Tenaga Listrik. Bandung, Penerbit ITB.)

Unit Auxiliary Transformer atau transformator pemakaian sendiri merupakan transformator penurun tegangan yang digunakan untuk melayani beban-beban dari sistem kelistrikan pemakaian sendiri. Setelah terjadi penurunan tegangan selanjutnya diteruskan ke LV Switchgear pembagi dimana sebagian ke outgoing feeder (keluarannya) yang diteruskan ke peralatan bantu pembangkit (pompa-pompa) dan sebagian lagi diteruskan ke LV Switchgear pembagi dengan kapasitas yang lebih kecil sesuai dengan kebutuhan.[7],[8].



Gambar 2. Bushing Transformer (electricalunits.com)

Jenis-Jenis Kabel

Jenis-jenis kabel yang dipergunakan untuk mendistribusikan energi listrik dari pusat pembangkit ke pelanggan, antara lain :

- a. Kabel ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) adalah hantaran udara yang berfungsi untuk menghantarkan arus pada tegangan 500 kV atau 150 kV dari pusat pembangkit ke gardu induk atau gardu distribusi. ACSR terbuat dari kawat aluminium (AAC) sebagai penghantar dan kawat baja (steel) sebagai penguat tegangan mekanis. Kabel

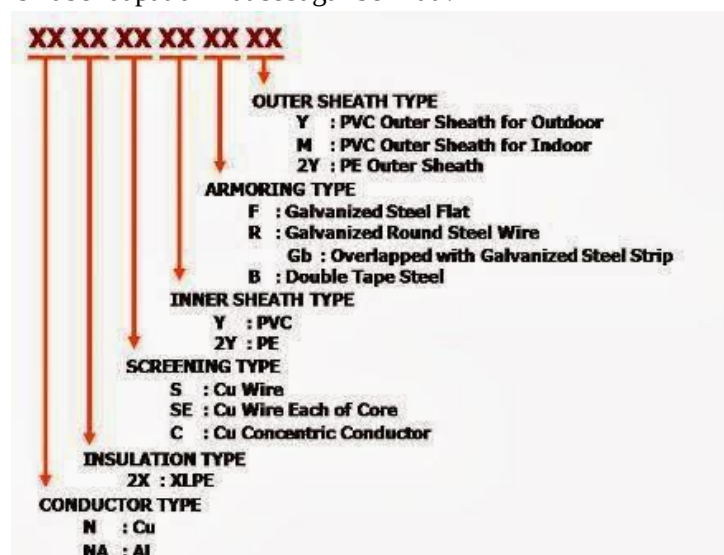
ini memiliki daya tarik yang tinggi sehingga digunakan pada saluran transmisi tegangan tinggi [10], [11], [12,].

- b. Kabel XLPE tegangan menengah atau hantaran udara (AAC, AAAC, AAAC-S) berfungsi untuk menghantarkan arus pada tegangan 6 kV sampai 30 kV dari gardu induk atau gardu distribusi ke gardu sub distribusi atau konsumen besar seperti industri. Kabel tegangan menengah merupakan kabel berinti tunggal, kabel berinti tiga dan kabel tiga inti tunggal (untuk bawah tanah dan hantaran udara). AAC (All Aluminium Conductors) terbuat dari aluminium murni, AAAC (All Aluminium Alloy Conductors) terbuat dari aluminium campuran, AAAC-S terbuat dari AAAC yang dilapisi oleh lapisan XLPE sebagai outer jacket. AAAC memiliki sifat anti karat dan memiliki daya hantar yang cukup baik. Lapisan XLPE berfungsi sebagai lapisan pelindung terhadap sentuhan. AAAC-S lebih aman dari AAC dan AAAC yang merupakan hantaran telanjang [10], [11], [12,].
- c. Kabel XLPE dan kabel PVC tegangan rendah berfungsi untuk menghantarkan arus pada tegangan 500 V sampai 3 kV dari gardu sub distribusi ke pelanggan [5]. Diakses dari <https://sinarmonas.co.id>



Gambar 3. Penampang Kabel XLPE (indonesian.alibaba.com)

Kode pengenal jenis kabel dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 4. Sistem Penamaan untuk Kabel *Medium Voltage* (teguh1645.blogspot.co.id, 2013)

Tabel 1. Kode Pengenal Jenis Kabel

Huruf Kode	Keterangan
N	Kabel jenis standar dengan tembaga sebagai penghantar
NA	Kabel jenis standar dengan alumunium sebagai penghantar
2X	Isolasi XLPE (Polietilen ikat silang)
CE	Penghantar konsentris pada masing-masing inti
Y	Selubung dalam PVC
2Y	Selubung luar PE (Polietilen)
Y	Selubung luar PVC
FGb	Perisai kawat baja galvanis pipih
RGb	Perisai kawat baja galvanis bulat
B	Perisai pita baja galvanis
Cm	Penghantar dipilin bulat dipadatkan

Hal yang perlu menjadi perhatian pada saat pemakaian kabel berisolasi XLPE adalah isolasi XLPE tidak tahan air dan sinar matahari. Oleh karena itu, kabel perlu dilapisi isolasi PVC yang kedap air sebagai pelindung bagian luar. Kabel berisolasi XLPE dalam proses penyambungan kabel menjadi lebih mudah jika dibandingkan proses penyambungan kabel berisolasi kertas dengan resapan minyak maupun dengan kabel berisolasi minyak bertekanan. Kabel terdiri dari Low Voltage yaitu tegangan 350-1000 V dan Medium Voltage yaitu tegangan 3,6/6 kV, 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30 kV [3].

2.2. Metode Analisis Data

Metode penelitian deskriptif kuantitatif, data yang diperoleh dari studi lapangan, studi literatur dan wawancara, kemudian dilakukan analisa perhitungan.

Dalam penentuan jenis kabel 20 kV dilakukan perhitungan besar arus yang dibutuhkan pada saat back feeding.

$$I_b = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \phi} \quad (2.1)$$

Sumber: Indra Roza (2018). *Analisa Penurunan Cos phi dengan Menentukan Kapasitas Bank pada Pembangkit Tenaga Listrik Pabrik Kelapa Sawit (PKS)*. JESCE, Vol. 2(1)

Dimana:

- I_b = Arus Beban (Ampere)
- P = Daya Aktif (Kw)
- V = Tegangan (Volt)
- $\cos \phi$ = Faktor Daya (0,8)

Dari beban arus yang didapatkan, dapat digunakan untuk menentukan luas penampang kabel dengan menggunakan perhitungan KHA (Kemampuan Hantar Arus).

$$KHA = 125\% \times I_{\text{beban}} \quad (2.2)$$

Sumber: Ramadan Carles A & Winarso (2021). *Perencanaan Kebutuhan Daya dan Instalasi Listrik pada Gedung Askrindo Bogor*. Jurnal Riset Rekayasa Elektro, 1.

Dalam penentuan kabel perlu diketahui besar *voltage drop* dari kabel tersebut, Tegangan Jatuh atau *Voltage Drop* adalah seberapa besar penurunan atau kehilangan nilai tegangan listrik yang mengalir pada suatu kabel penghantar dari nilai tegangan normal. Berikut adalah nilai dari *voltage*

drop kabel :

$$V_r = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos \varphi}{A} \quad (2.3)$$

Sumber: Ramadan Carles A & Winarso (2021). *Perencanaan Kebutuhan Daya dan Instalasi Listrik pada Gedung Askrindo Bogor*. Jurnal Riset Rekayasa Elektro, 1.

Dimana: V_r = Rugi Tegangan (Drop Voltage)
 ρ = Tahanan jenis (Ohm.mm²/Meter) (Cu : 0,0000000172)
 L = Panjang kabel penghantar (m)
 I_b = Arus Beban (A)
 $\cos \varphi$ = Faktor daya (0.80)
 A = Luas Penampang (m²)

Selanjutnya setelah ditentukan tipe kabel 20 kV, dilakukan perancangan desain instalasi kabel 20 kV menuju *Unit Auxiliary Transformer* dengan memperhatikan nilai perhitungan *bending radius* kabel [7].

Tabel 2. Koefisien *bending radius cable* (NEC Section 330.24, 2014)

Cable Type	Minimum Bending Radius as a Multiple of Overall Cable Diameter
Single or Multiple Conductor Cables without Metallie Shielding	8 times the overall cable diameter
Single Conductor Cables with Shielding	12 times the overall cable diameter
Multiple Conductor Cble with Individually Shielded Conductors	12 times the individual cable diameter or 7 times the overall cable diameter – whichever is greater
Portable (mining) Cables	times for cables rated 5000 volt or less, 8 times for cable rated over 5000 volt
Fiber Optic Cables	10 times overall diameter for multimode cables, 20 times overall diameter for singlemode cables
Interlocked Amor or Corrugated Sheath (Type MC) Cables	7 times overall cable diameter

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Daya untuk Back Feeding

Untuk menganalisa back feeding harus diketahui daya beban total dari peralatan yang akan dilakukan back feeding, dimana nanti akan digunakan untuk menentukan sumber daya listrik yang akan digunakan dalam back feeding. Penentuan sumber daya listrik dilakukan dengan cara memperhitungkan total daya pada saat proses back feeding itu sendiri yaitu untuk motor, pump/fan trial run, dan turning test.

Tabel 3. Kebutuhan Daya per Tahapan

	Phase1	Phase2	Phase3	Phase4	Phase5
	2/23 - 2/28	3/1-3/10	3/11-3/20	3/21-3/25	3/26-4/4
24H Operating AUX (Control panel, lighting, F/F, etc)	△	△	△	○	○
Lube Oil System		○	○	○	○
Control Oil System		○	○	○	○
GEN Seal Oil System			○	○	○
CCW & Instrument Air		○	○	○	○
Fuel Gas System				○	
Fuel Gas System (AUX Starter & Remote Control Panel)		○	○	○	○
#4-1 Max demand (kw)	1,250	2,425	2,810	7,345	3,185
#4-2 Max demand (kw) (1 month Interval)	-	-	-	1,250	2,425

Keterangan : Phase adalah Tahapan

△ Partial Load

○ Full Load

Dari tabel 3 di atas dapat diketahui total daya yang dibutuhkan pada saat back feeding yang diperoleh dari pemakaian daya pada tahapan ke 4 dikarenakan tahapan ke 4 memiliki total daya terbesar yang dibutuhkan dibandingkan tahapan lain dan pemakaian daya pada unit 2 telah diperhitungkan. Sehingga apabila dilakukan pengujian pada tahapan yang lainnya, sumber daya listriknya dapat terpenuhi.

$$\text{Tahapan ke 4} = (7345 + 1250) \text{ kW}$$

$$= 8595 \text{ kW}$$

$$= 8.5 \text{ MW}$$

Dari total daya yang diperoleh sebesar 8.5 MW, akan tetapi total daya akan dibulatkan menjadi 10 MW untuk cadangan apabila ada penambahan peralatan yang akan dilakukan pengujian.

Sedangkan sumber daya listrik untuk back feeding berasal dari panel 20 kV yang terletak di GIS 150 kV Priok Timur Lama. Dari tegangan tersebut dapat diketahui besar arus yang dibutuhkan pada saat back feeding. Perhitungan arus beban listrik berdasarkan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$I_b = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$$

$$I_b = \frac{10000 \text{ kW}}{20 \text{ kV} \times \sqrt{3} \times 0,8} = 360,84 \text{ Ampere}$$

Perhitungan arus tersebut diperoleh dari besarnya kebutuhan daya listrik pada saat back feeding dan besarnya tegangan, sehingga diperoleh arus sebesar 360,84 Ampere. Pada kubikel GIS 150 kV Priok Timur Lama terdapat incoming dari Transformator 1 dan Transformator 2, dimana untuk Transformator 1 tidak terdapat spare kubikel, sehingga menggunakan kubikel Transformator 2 yang terdapat 8 spare kubikel.

Pada spesifikasi PMT tersebut terdapat arus maksimal sebesar 630 Ampere, dimana apabila arus yang mengalir melewati rating tersebut maka PMT akan menutup agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan listrik. Sedangkan besarnya arus yang akan digunakan sebesar 360,84 Ampere sehingga pada kubikel tersebut PMT mampu menyalurkan daya listrik. Dibawah ini merupakan spesifikasi dari PMT pada kubikel 20 kV GIS 150 kV Priok Timur Lama, yang ditunjukkan pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Spesifikasi Circuit Breaker

CIRCUIT BREAKER	
Type	HVX24-25-06E210
Rated Voltage	24 kV
Rated Lightning Impulse Withstand	125 kV
Rated Frequency	50/60 Hz
Rated Normal Current	630 A
Rated Short Circuit Breaking Current	32.5 A
Rated Supply Voltage of Spring Charge	110 VDC

Penentuan Jenis Kabel 20 kV

Dari beban arus yang didapatkan sebesar 360,86 Ampere, dapat digunakan untuk menentukan luas penampang kabel. Maka digunakan perhitungan KHA (Kemampuan Hantar Arus) pada kabel, berdasarkan persamaan 3.2 perhitungannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{KHA} &= 125\% \times I \text{ beban} \\
 &= 125\% \times 360,86 \text{ Ampere} \\
 &= 451,05 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Kemampuan Penampang Kabel (PUIL, 2000)

Luas Penampang Nominal Kabel (mm²)	Kemampuan Hantar Arus Maksimum (A)	Kemampuan Hantar Arus nominal maksimum pengaman (A)
1,5	19	20
2,5	25	25
4	34	35
6	44	50
10	61	63
16	82	80
25	108	100
35	134	125
50	167	160
70	207	224
95	249	250
120	291	300
150	334	355
185	380	355
240	450	425
300	550	550

Dari kemampuan hantar arus sebesar 451,05 Ampere maka dapat digunakan kabel dengan luas penampang 300 mm². Dengan semakin besar luas penampang kabelnya, maka semakin besar kapasitas arus yang dapat dibebankan oleh kabel tersebut. Dalam penentuan kabel perlu diketahui besar voltage drop dari kabel tersebut, Tegangan Jatuh atau Voltage Drop adalah seberapa besar penurunan atau kehilangan nilai tegangan listrik yang mengalir pada suatu kabel penghantar dari

nilai tegangan normal. Berdasarkan persamaan 2.3, nilai dari voltage drop kabel atau besar rugi tegangan adalah sebagai berikut :

$$V_r = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos \phi}{A}$$

$$V_r = \frac{\sqrt{3} \times 0,0000000172 \times 2000 \times 360,84 \times 0,8}{0.0003}$$

$$= 28,667 \text{ Volt}$$

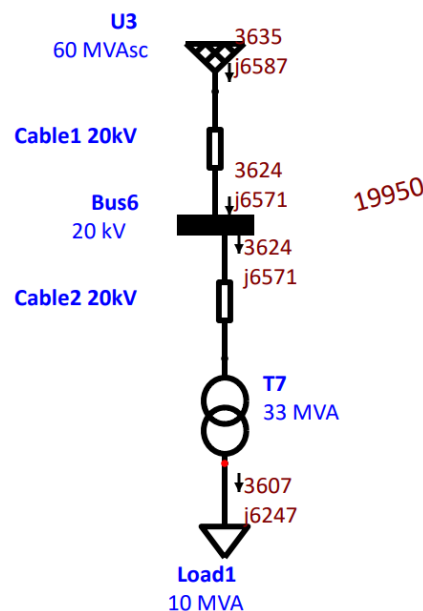
$$\text{Presentase rugi tegangan} = \frac{28,667 \text{ Volt}}{20000 \text{ Volt}} \times 100\%$$

$$= 0,14\%$$

Besar tegangan akhir / tegangan pada busbar kabel 20 kV

$$\begin{aligned} V_{\text{akhir pada kabel}} &= (20.000 \text{ Volt}) - (28,667 \text{ Volt}) \\ &= 19971,34 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan voltage drop di atas dapat di buktikan menggunakan aplikasi ETAP, seperti berikut:



Gambar 5. Hasil Perhitungan Tegangan Akhir pada Kabel 20 kV dengan Aplikasi ETAP

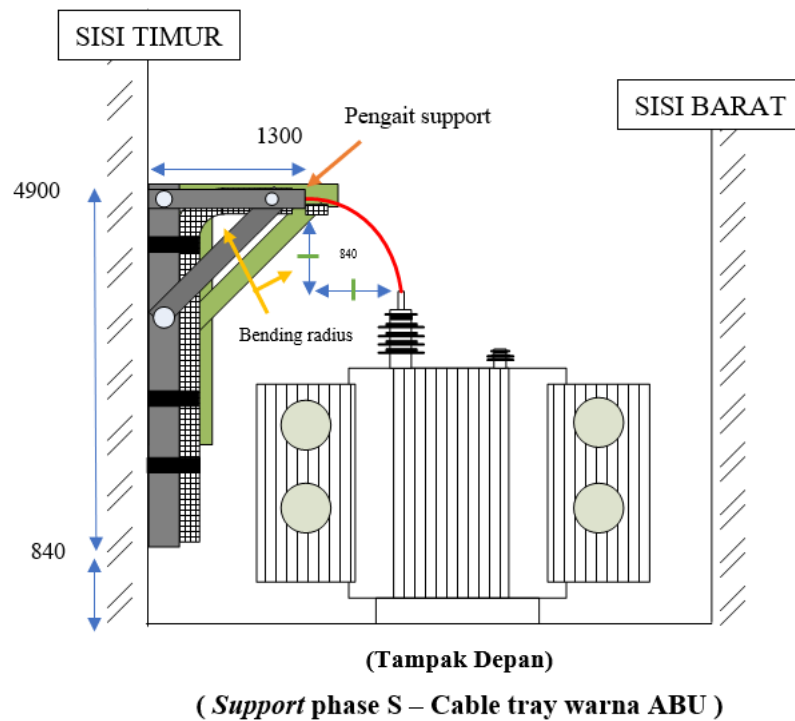
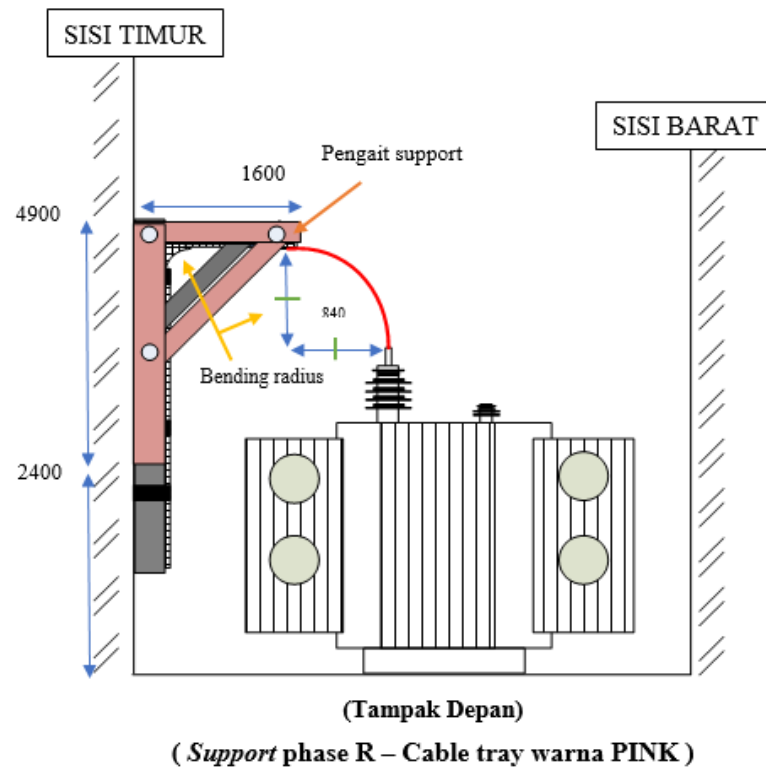
Dari total daya, tegangan dan arus dapat ditentukan kabel yang digunakan, pada PLTGU Jawa-2 menggunakan kabel XLPE N2XSEBY 3x300 mm² dengan tegangan 20(24) kV. Kabel ini dipilih selain dari segi sumber tegangan, arus, voltage drop juga dikarenakan memiliki keunggulan yang sesuai dengan kondisi di lapangan seperti temperatur kerja yang tinggi (90oC), tahan panas (tidak mudah meleleh), tidak menghisap air, umur kabel yang relatif lama dan tahanan isolasi yang tinggi (1019 ohm-cm).

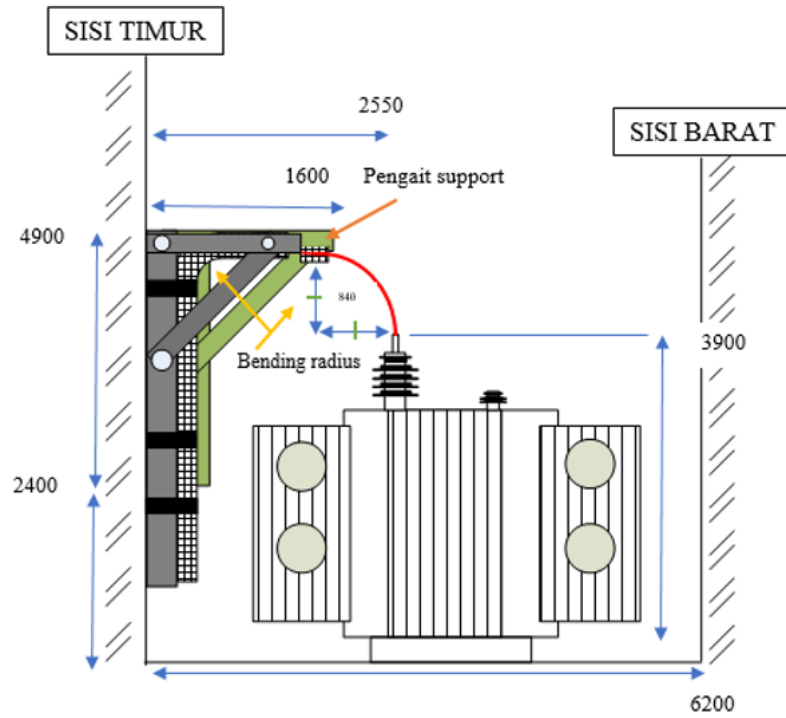
Tabel 6. Spesifikasi Kabel XLPE N2XSEBY 3x300 mm² (Supreme Cable)

Nominal cross-sectional area		mm ²	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Conductor diameter (approx)		mm	7.1	8.25	9.9	11.7	13.1	14.3	16.3	18.2	20.9	23.7
Nominal insulation thickness		mm	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Insulation diameter (approx)		mm	19.7	20.9	22.5	24.3	25.7	26.9	28.9	31.3	33.5	36.3
Nominal tape armour thickness		mm	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8
Nominal outer sheath thickness		mm	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.8	4.0
Overall cable diameter (approx)		mm	57	60	64	68	71	74	79	86	91	98
Cable net weight (approx)		CU	4,900	5,600	6,600	7,800	8,900	10,100	11,700	14,900	17,400	20,800
		AL	4,200	4,700	5,300	6,000	6,600	7,200	8,200	10,200	11,600	13,400
Standard length per-reel		m	500	500	500	500	350	350	350	300	300	300
Minimum bending radius		mm	480	510	550	600	630	660	720	790	840	910
Max. DC conductor resistance at 20 °C	CU	Ω/Km	0.524	0.387	0.268	0.193	0.153	0.124	0.0991	0.0754	0.0601	0.0470
	AL		0.868	0.641	0.443	0.320	0.253	0.206	0.164	0.125	0.100	0.0778
Min. insulation resistance at 20 °C		MΩ.Km	1,400	1,300	1,100	1,000	900	900	800	700	700	600
Capacitance per phase		µF/Km	0.136	0.149	0.169	0.190	0.206	0.220	0.243	0.270	0.294	0.326
Inductance per phase		mH/km	0.377	0.362	0.344	0.328	0.318	0.310	0.300	0.289	0.281	0.273
Max. short circuit current of conductor	CU	kA/sec	5.18	7.36	10.26	13.88	17.49	21.81	26.86	34.78	43.41	57.79
	AL		3.45	4.89	6.81	9.19	11.58	14.43	17.76	22.98	28.67	38.14
Max. short circuit current of screen			2.77	2.92	3.14	3.38	3.57	4.66	3.99	4.31	4.60	6.21
Maximum current carrying capacity at 30 °C	in air	CU	173	206	257	313	360	410	469	553	629	760
		AL	139	161	199	242	280	318	365	425	481	593
	in ground	CU	171	202	246	295	335	376	425	492	554	625
		AL	132	154	191	228	260	292	331	385	437	495
AC test voltage		kV/5 min	42 (IEC) , 30(SPLN)									

Dalam pemasangan kabel 20 kV, kabel tidak boleh dibelokan 900 sehingga penyambungan kabel 20 kV menuju bushing harus perhatikan bending radiusnya. Bending radius adalah nilai kelengkungan suatu kabel, yang digunakan untuk mengurangi stress pada kabel 20 kV terutama bagian tembaga. Penentuan nilai bending radius dapat dilakukan dengan melihat spesifikasi dari kabel 20 kV, secara teori nilai bending radius dapat dilihat pada tabel 6 sesuai dengan jenis kabel yang digunakan.

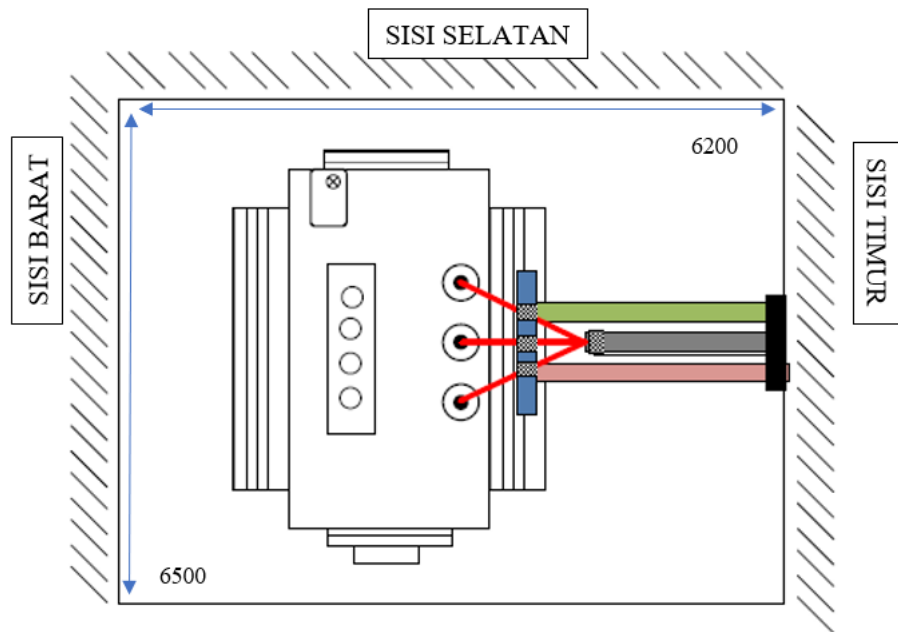
Apabila besar bending radius tidak diperhatikan maka akan terjadi stres pada kabel yang berakibat retak bahkan patah pada tembaga, keretakan ini akan mengurangi kemampuan hantarkan arus (KHA), apabila KHA berkurang maka back feeding akan terganggu. Selain itu pada tembaga kabel akan menimbulkan celah yang akan memicu keluarnya percikan api, sementara semakin besar tegangan yang dihantarkan akan semakin besar pula percikan yang akan dihasilkan. Apabila percikan semakin besar akibatkan kerusakan pada peralatan, bahkan relai proteksi tidak mampu mengatasinya hingga timbul kebakaran.



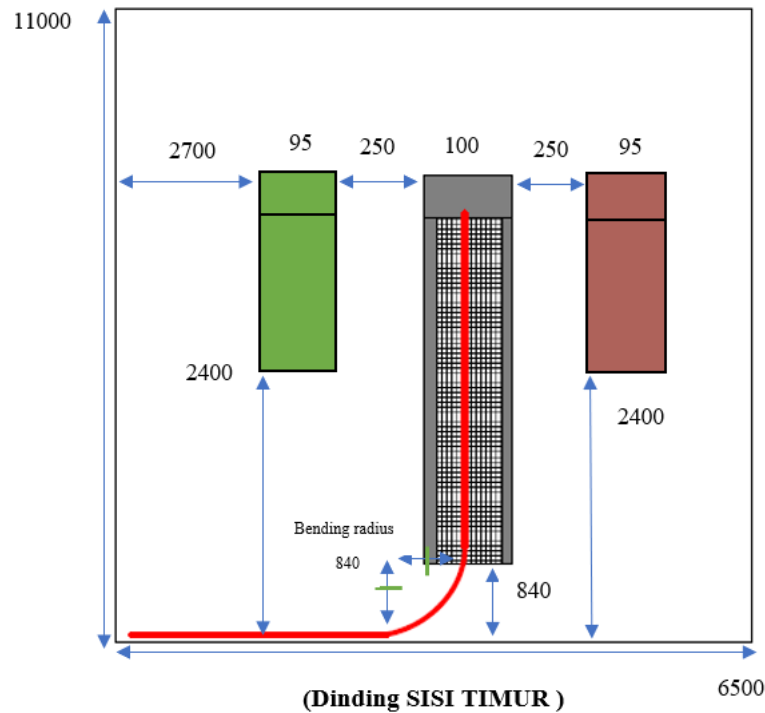


(Tampak Depan)

(Support phase T – Cable tray warna HIJAU)

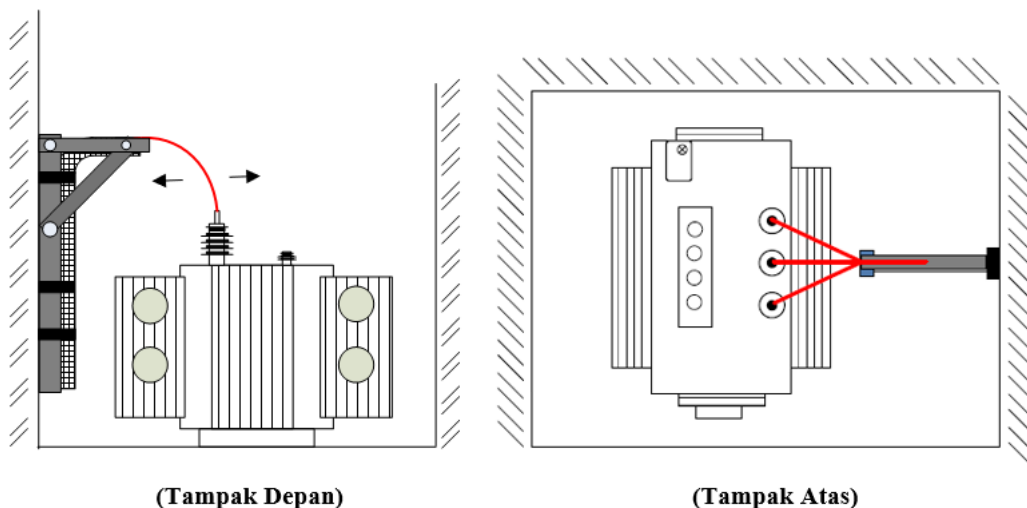


(Tampak Atas)

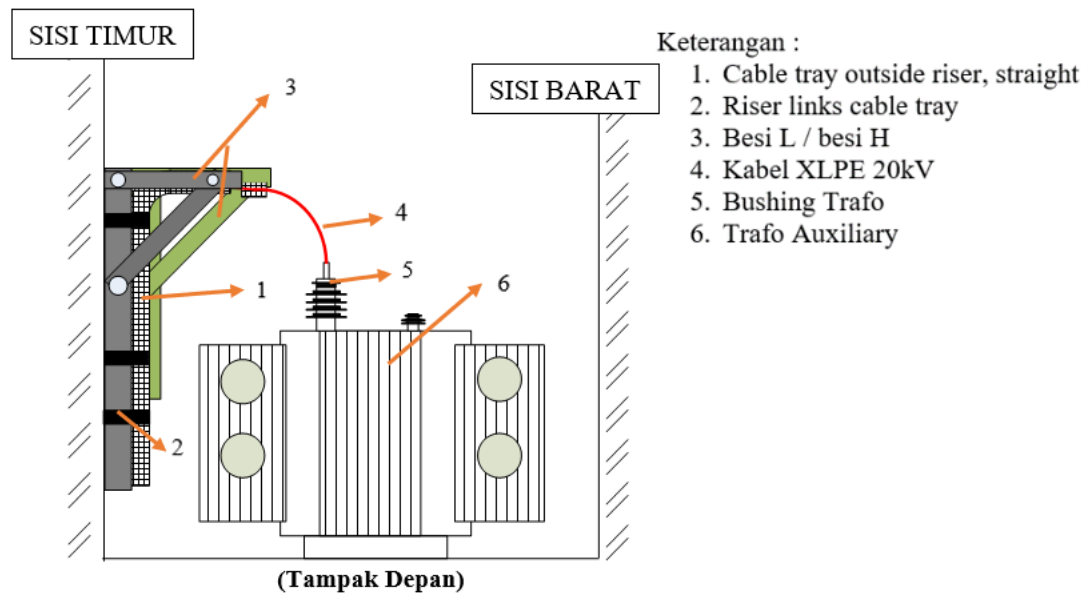


Gambar 6. Desain Cable Tray dengan Support Kabel 20kV ke Bushing Trafo

Diperlukan perancangan untuk penambahan support agar kabel 20 kV tidak bergerak fleksibel akibat getaran pada unit auxiliary transformer saat beroperasi dan nilai bending radius tetap terjaga sesuai dengan ketentuan spesifikasi dari kabel 20 kV dan kerusakan peralatan dapat dihindari. Support tambahan yang akan digunakan berupa cable tray dengan pengaitnya berupa kabel ties. Berikut adalah perancangan support kabel tray pada bushing unit auxiliary transformer.



Gambar 7. Desain Cable Tray dengan Tanpa Support Kabel 20kV ke Bushing Trafo



Gambar 8. Perancangan *Support Kabel* 20 kV ke Bushing Trafo

Estimasi Biaya Pekerjaan *Back Feeding*

Biaya *back feeding* yang akan dikeluarkan untuk pengoperasian *back feeding* dan telah dilakukan penambahan *support cable tray* pada bushing *unit auxiliary transformer*. Berikut ini merupakan biaya material dan biaya *man power*.

Biaya Material

Tabel 7. Estimasi Perhitungan Biaya Material

Item	Volume	Harga per Satuan		Harga Total
Kabel XLPE 3x300 mm ²	2000 m	Rp	459.703,00	Rp 919.406.000,00
KwH meter	1 set	Rp	1.255.756,00	Rp 1.255.756,00
Jointing Kabel 20 kv 3x300 mm ²	4 set	Rp	5.830.150,00	Rp 23.320.600,00
Terminasi Kabel 20 kv 3x300 mm ²	4 set	Rp	2.278.559,00	Rp 9.114.236,00
Pipa PVC 6 inchi (5mm) tipe AW	12 m	Rp	633.560,00 (per 4 m)	Rp 1.900.680,00
Kubikel ISO LBS MOTORIZED 24 kV, 630 A, 25 kA	1 unit	Rp	37.669.000,00	Rp 37.669.000,00
Kubikel N ISO CBOG 24 kV, 630 A, 12.5 kA	1 unit	Rp	70.095.413,00	Rp 70.095.413,00
Dinabol tray kabel (12x100mm)	60 buah	Rp	7.500,00	Rp 450.000,00
Tray Kabel	20 m	Rp	127.917,00	Rp 2.558.340,00
Besi L untuk tray kabel di trafo	80 kg	Rp	16.631,00	Rp 1.330.480,00
Plat joint baja	112 kg	Rp	9.700,00	Rp 1.086.400,00
Kawat BC 50 mm ²	40 m	Rp	29.711,00	Rp 1.188.440,00
Besi Kanal UNP Double	20 m	Rp	296.630,00	Rp 5.932.600,00
Patok Tanda Kabel	18 buah	Rp	45.558,00	Rp 820.044,00

CT 20 kV	3 buah	Rp 4.256.800,00	Rp 12.770.400,00
Total Biaya Material			Rp 1.088.898.389,00

Biaya Man Power

Tabel 8. Estimasi Perhitungan Biaya Man Power
(Ikatan Nasional Konsultan Indonesia, 2017)

Deskripsi	Jumlah	Waktu Bekerja	Biaya per Bulan	Biaya Total
Technician	8 orang	2 bulan	Rp 10.000.000,00	Rp 160.000.000,00
Special Technician	3 orang	2 bulan	Rp 11.700.000,00	Rp 70.200.000,00
Surveyor	2 orang	1 bulan	Rp 9.000.000,00	Rp 18.000.000,00
Inspector	2 orang	1 bulan	Rp 10.000.000,00	Rp 20.000.000,00
Total Biaya Manpower			Rp	268.200.000,00

Total Biaya Back Feeding

$$\begin{aligned}
 &= \text{Biaya Material} + \text{Biaya Man Power} \\
 &= \text{Rp } 1.088.898.389,00 + \text{Rp } 268.200.000,00 \\
 &= \text{Rp } 1.357.098.389,00
 \end{aligned}$$

Apabila dalam pengerjaan konstruksi untuk proses *back feeding* tidak dilakukan penambahan *support bending radius* kabel ke *bushing unit auxiliary transformer* maka akan terjadi gangguan pada *unit auxiliary transformer*. Salah satu gangguannya harus dilakukan penggantian *unit auxiliary transformer* atau komponen di dalam *unit auxiliary transformer* tergantung tingkat keparahan dari keretakan/ stress pada kabel. Apabila dilakukan perbaikan, perbaikan biasanya membutuhkan waktu yang lama sekitar 4-5 bulan, sehingga selama perbaikan akan mengakibatkan kemunduran pengoperasian pembangkit dan mengakibatkan kerugian PLN dalam menghasilkan listrik. Berikut estimasi kerugian PLN yang akan diperoleh:

PLTGU Jawa-2 *Combine Cycle* akan hasilkan daya 800-880MW. Sehingga dapat di ketahui Kwh yang akan dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Kwh} &= \text{Daya yang dihasilkan (Watt)} \times \text{Jangka waktu (Jam)} \\
 \text{Kwh per Satu Hari} &= (800000 \text{ watt}) \times (24\text{jam}) \\
 &= 19200000 \text{ Kwh} \\
 \text{Kerugian per Satu Hari} &= \text{Kwh yang dihasilkan} \times \text{Tarif per Kwh} \\
 &= 19200000 \times \text{Rp } 1.699,53 \\
 &= \text{Rp } 32.630.976.000,00
 \end{aligned}$$

*Tarif per Kwh bersumber dari PT PLN Distribusi Jakarta Raya dan merupakan tarif rata-rata Kwh yang digunakan.

$$\begin{aligned}
 \text{Maka kerugian yang di peroleh PT PLN akibat keterlambatan pengoperasian sebesar :} \\
 \text{Total Kerugian per 1 Bulan} &= \text{Kerugian per Satu Hari} \times \text{Lama waktu pengerjaan} \\
 &= (\text{Rp } 32.630.976.000,00) \times (30\text{hari}) \\
 &= \text{Rp } 978.929.280.000,00
 \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penentuan kabel yang telah disesuaikan dengan kondisi peralatan di lapangan dari segi tegangan, arus hantar dan voltage drop, maka kabel yang digunakan untuk pelaksanaan back feeding adalah kabel XLPE N2XSEBY 3x300 mm² dengan tegangan 20(24) kV. Perancangan instalasi kabel 20 kV yang menyuplai Unit Auxiliary Transformer dinyatakan lebih aman dengan memperhatikan bending radius kabel dan penambahan support kabel untuk meminimalisir gangguan yang akan terjadi dan mencegah terjadinya keterlambatan pelaksanaan back feeding. Berdasarkan penelitian dan analisa perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa apabila penelitian ini di implementasikan akan memiliki saving sebesar Rp 977.572.181.611,00 dalam 1 bulan instalasi kabel 20 kV, gain sebesar Rp 978.929.280.000,00 per 1 bulan produksi Kwh dan benefit yang lebih baik jika dibandingkan dengan menunggu kesiapan sumber daya listrik dari Inter Bus Transformer (IBT) sistem 500/150 kV dan tidak memperhatikan nilai bending radius kabel dalam instalasi perancangan alternatif sumber daya untuk pekerjaan back feeding.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afrianda R & Samsurizal (2020). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Studi Gardu PT PLN (PERSERO) Area Bekasi. Vol. 10 No. 1 (2020): JURNAL ILMIAH SUTET
- [2] Agam, M dan Kartini. Unit Three. 2020. Peramalan Daya Listrik PLTS On Grid pada Rumah Tinggal Menggunakan Metode k NNDcNN Berdasarkan Data Meteorologi. Jurnal Teknik Elektro. Vol 9 (2):hal. 241- 249.
- [3] Erwin Dermawan & Dimas Nugroho. Analisa Koordinasi Over Current Relay dan Ground Fault Relay di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka. Jurnal Elektum Vol. 14 No.2
- [4] Gao,M, Li,J, Hong,F, dan Long,D. 2019a. Short-term forecasting of power production in a large-scale photovoltaic plant based on LSTM. Applied Sciences(Switzerland), 9(15).
- [5] Mukhamad Surya Hudha & Abdul Multi (2019). Perencanaan Saluran Kabel Bawah Tanah pada Instalasi Pengolahan Gas. Sinusoida, XXI, 1.
- [6] Simangungsong, Parlaungan (2021). Prosedur Pekerjaan Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah 20 kV (SKTM 20 KV) Berbasis Keandalan dan Keamanan. Jurnal Insinyur Profesional, 3, 35-46.
- [7] Ramadan Carles A & Winarso (2021). Perencanaan Kebutuhan Daya dan Instalasi Listrik pada Gedung Askrindo Bogor. Jurnal Riset Rekayasa Elektro, 1.
- [8] Ikatan Nasional Konsultan Indonesia (INKINDO), 2017. Pedoman Standar Minimal. Jakarta, Dewan Pengurus Nasional Ikatan Nasional Indonesia.
- [9] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)(2000). Pedoman Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Jakarta, Badan Standarisasi Nasional.
- [10] PT. PLN (Persero) Jawa-2 Combine Cycle Power Plant (2017). GENERAL PLOT PLANT (Book IV Drawings)
- [11] PT. PLN (Persero) Jawa-2 Combine Cycle Power Plant (2017). SPECIFICATION FOR UNIT AUXILIARY TRANSFORMER
- [12] PT. PLN (Persero) Jawa-2 Combine Cycle Power Plant (2017). GT TRANSFORMER FOUNDATION, FOUNDATION PLAN, STEEL FRAMING PLAN & DETAILS
- [13] Indra Roza (2018). Analisa Penurunan Cos phi dengan Menentukan Kapasitas Bank pada Pembangkit Tenaga Listrik Pabrik Kelapa Sawit (PKS). JESCE, Vol. 2(1)

- [14] Soenpiet, Reinir Ruben (2015). Pemeliharaan Transformer Daya 30 MVA di PLTP Lahendong.
- [15] Indra, Teguh (2013). teguh1645.blogspot.co.id, 2013. Jenis Jenis Kabel Power Standar Penamaan SPLN dan IEC, dari teguh1645.blogspot.co.id