

Perancangan instalasi kabel 20 kV pada auxiliary transformer sebagai alternatif *back feeding* PLTGU Jawa 2

Rio Afrianda¹ dan Setianto Rama Putra²

¹Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan Institut Teknologi PLN
Menara PLN, Jl. Lkr. Luar Barat, Jakarta, Indonesia

²Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10 Bandung 40132 Indonesia

Email: rio@itpln.ac.id

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 diantisipasi sebelumnya.

Kata kunci: *back feeding*, unit *auxiliary transformer*, kabel 20 kV

Design of 20 kV cable installation on auxiliary transformer as an alternative back feeding for PLTGU Jawa 2

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*

How to cite (APA 7th Style): Afrianda, R., & Putra, S. R. (2023). Perancangan instalasi kabel 20 kV pada *Auxiliary Transformer* sebagai alternatif back feeding PLTGU Jawa 2. *Jurnal Penelitian Saintek*, 28(2), 85-98. <http://dx.doi.org/10.21831/jps.v1i2.65193>.

PENDAHULUAN

Dalam rangka mewujudkan program pemerintah mengenai percepatan pembangunan pembangkit listrik 35.000 MW dilakukan pembangunan Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) 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 (Simangunsong, 2021).

Dalam pelaksanaan proyek PLTGU Jawa-2 terdapat dua tahapan, yaitu tahapan konstruksi dan pengujian (komisioning). Dalam masa konstruksi terdapat pengujian peralatan atau *back feeding* sebelum peralatan dioperasikan.

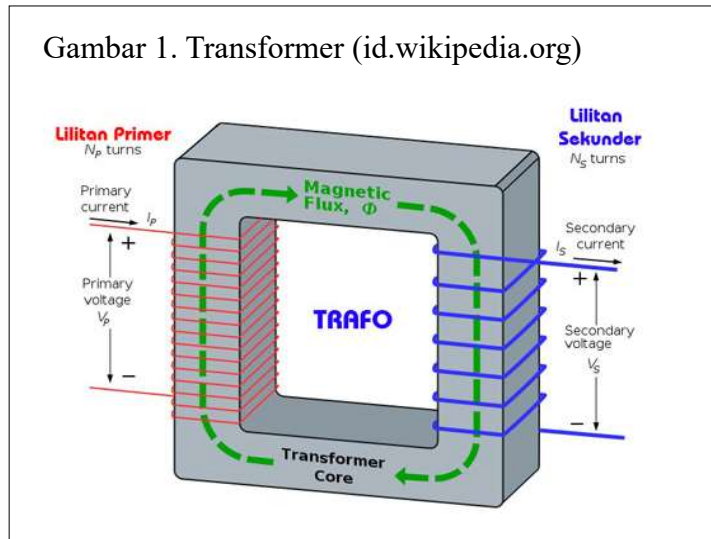
Back feeding merupakan pengiriman energi listrik dari jaringan eksisting milik PLN menuju sistem kelistrikan pembangkit listrik untuk tujuan melakukan pengujian peralatan bantu pembangkit listrik seperti motor, pompa, dan *turning test*. Pada proyek PLTGU Jawa-2, *back feeding* menggunakan sumber daya listrik dari *Inter Bus Transformer (IBT)* sistem 500/150 kV. Akan tetapi, karena terjadi keterlambatan dalam pemasangan 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 dengan arus maksimal sebesar 630 Ampere pada setiap panelnya. Selain itu, dalam kajian tersebut ditetapkan bahwa *back feeding* ini bersifat temporer atau sementara. Dari uraian tersebut, penulis membuat sebuah perancangan instalasi kabel 20 kV menuju Unit *Auxiliary Transformer* PLTGU Jawa-2 untuk melakukan *back feeding*.

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 yang mengakibatkan transformator sisi primer akan terjadi induksi dan pada sisi sekunder akan menerima garis gaya magnet. Hal ini menyebabkan terjadinya timbul induksi. Akibatnya, antara kedua ujung kumparan (lilitan) akan terdapat perbedaan tegangan (Lararenjana, 2022).

Pada pusat tenaga listrik untuk daya pemakaian sendiri di lengkapi dengan transformator tenaga yang disebut *Unit Auxiliary Transformer (UAT)*. UAT merupakan transformator penurun tegangan yang digunakan untuk beban dari sistem kelistrikan pemakaian sendiri yang

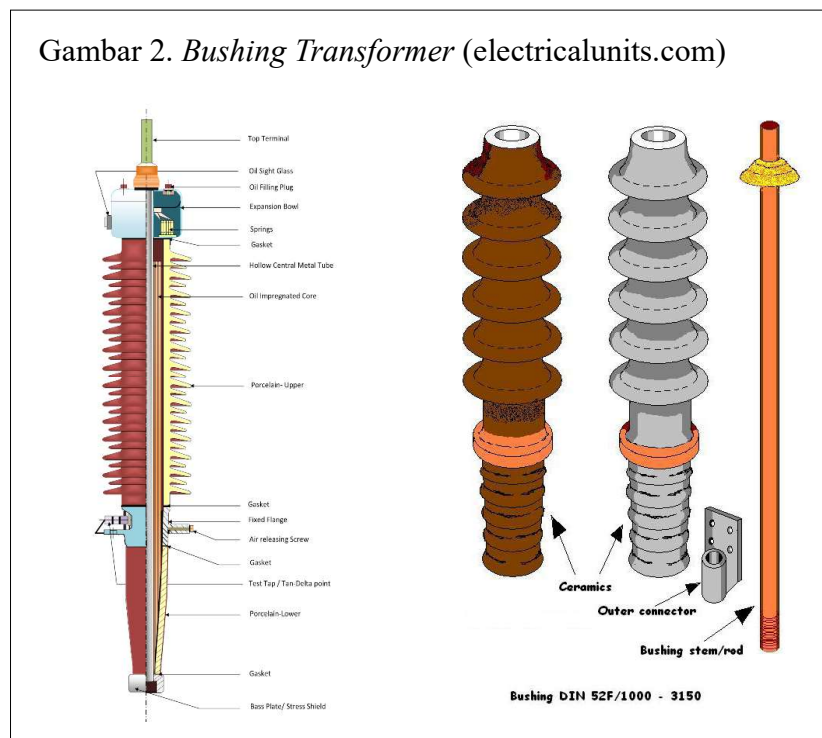
Gambar 1. Transformmer (id.wikipedia.org)



membutuhkan suplai listrik tegangan rendah. Pada sistem kelistrikan pusat listrik skala kecil dan menengah, suplai daya UAT dapat diambil langsung dari keluaran generator (Afrianda, Samsurizal, & Nurul, 2020).

Sistem jaringan luar terhubung ke kumpulan transformmer melalui *bushing transformer* (Gambar 2). *Bushing transformer* merupakan konduktor yang diselubungi oleh isolator dan berfungsi juga sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan tangki transformmer (Zuhal, 1991). *Bushing transformer* terdiri atas isolasi (*oil impregnated paper*), konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi dengan tipe *oil impregnated paper* yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi. Konduktor ada tiga jenis yaitu *hollow*, pejal, dan *flexible lead*. Klem koneksi

Gambar 2. *Bushing Transformer* (electricalunits.com)



merupakan sarana pengikat antara *stud bushing* dengan konduktor penghantar di luar *bushing* (Zuhal, 1991).

UAT 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 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.

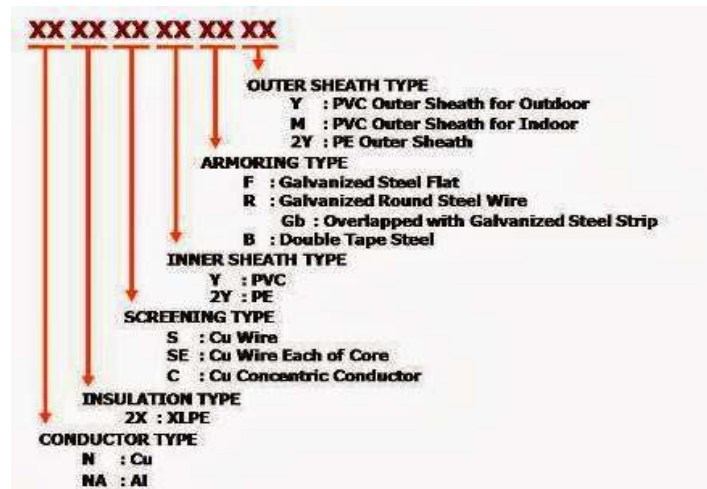
Jenis-Jenis Kabel. Jenis-jenis kabel yang dipergunakan untuk mendistribusikan energi listrik dari pusat pembangkit ke pelanggan. *Pertama*, kabel ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) adalah hantaran udara yang berfungsi untuk menghantarkan arus pada tegangan 500 kV atau 150 kV dari pusat pembangkit ke gardu induk atau gardu distribusi. ACSR terbuat atas 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. *Kedua*, kabel XLPE tegangan menengah atau hantaran udara (AAC, AAAC, AAAC-S) yang 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.

Kabel XLPE dan kabel PVC tegangan rendah berfungsi untuk menghantarkan arus pada tegangan 500 V sampai 3 kV dari gardu subdistribusi ke pelanggan (Hanafi & Mulyono, 2020). Penampang Kabel XLPE dapat dilihat pada Gambar 3. Kode pengenalan jenis kabel dapat dilihat pada Gambar 4.

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



Gambar 4. Sistem Penamaan untuk Kabel *Medium Voltage*



Sumber: Teguh (2013)

Tabel 1

Kode pengenal jenis kabel

Huruf Kode	Keterangan
N	Kabel jenis standar dengan tembaga sebagai penghantar
NA	Kabel jenis standar dengan aluminium 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

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 (Hanafi & Mulyono, 2020)

METODE

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* (Roza, 2018).

$$I_b = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \phi} \quad (1)$$

Keterangan:

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) (Andriyan & Winarso, 2021).

$$KHA = 125\% \times I \text{ beban} \quad (2)$$

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 (Andriyan & Winarso, 2021).

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

Keterangan:

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)

$\cos \phi$ = Faktor daya (0,80)

A = Luas Penampang (m²)

Setelah ditentukan tipe kabel 20 kV, dilakukan perancangan desain instalasi kabel 20 kV menuju UAT dengan memperhatikan nilai perhitungan *bending radius* kabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Daya untuk Back feeding. Sebelum dilaksanakan *back feeding* harus mengetahui 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 menunjukkan 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 pemakaiannya daya pada unit 2 telah diperhitungkan. Apabila dilakukan pengujian pada tahapan yang lainnya, sumber daya listriknya dapat terpenuhi.

Tabel 2
Koefisien bending radius cable

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	5 times 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

Sumber: NEC Section 330.24 (2014)

Tabel 3
Kebutuhan daya per tahapan

	Phase 1 2/23-2/28	Phase 2 3/1-3/10	Phase 3 3/11-3/20	Phase 4 3/21-3/25	Phase 5 3/26-4/4
24H Operating AUX (Control panel, lighting, F/F, etc)	△	△	△	0	0
Lube oil system		0	0	0	0
Control oil system		0	0	0	0
GEN seal oil system			0	0	0
CCW & Instrument air		0	0	0	0
Fuel gas system				0	
Fuel gas system (AUX starter & remote control panle)		0	0	0	0
# 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

Kerangan : Phase adalah Tahapan

△ Partial Load
○ Full Load

$$\begin{aligned} \text{Tahapan ke 4} &= (7345 + 1250) \text{ kW} \\ &= 8595 \text{ kW} \\ &= 8,5 \text{ MW} \end{aligned}$$

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 (1).

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

$$I_b = \frac{10000 \text{ kW}}{20 \text{ kV} \times \sqrt{3} \times 0,8} = 360,84 \text{ Ampere} \quad (1)$$

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, 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 raiting 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. Di bawah ini merupakan spesifikasi dari PMT pada kubikel 20 kV GIS 150 kV Priok Timur Lama, yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4
Spesifikasi circuit breaker

Circuit Breaker	Spesifikasi
Type	HVX24-25-06E210
Rated Voltage	24 kV
Rated Lighting Impulse Whitstand	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 (2).

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

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 (4), nilai dari *voltage drop* kabel atau besar rugi tegangan adalah sebagai berikut.

$$Vr = \frac{\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos\phi}{A} \quad (3)$$

$$Vr = \frac{\sqrt{3} \times 0,0000000172 \times 2000 \times 360,84 \times 0,8}{0,0003}$$

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

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

$$= 0,14\%$$

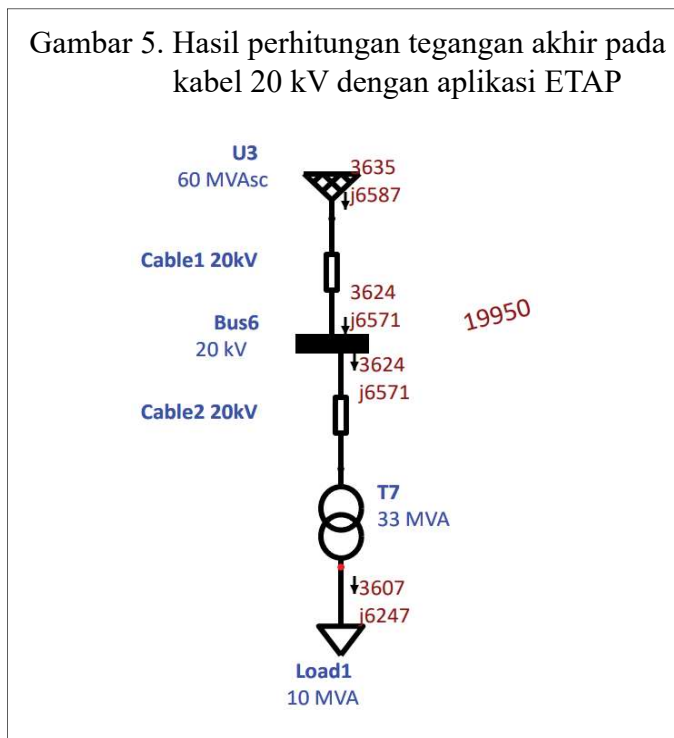
Besar tegangan akhir/tegangan pada busbar kabel 20 kV

$$V_{\text{akhir}} \text{ pada kabel} = (20.000 \text{ Volt}) - (28,667 \text{ Volt})$$

$$= 19971,34 \text{ Volt}$$

Hasil perhitungan *voltage drop* di atas dapat dibuktikan menggunakan aplikasi ETAP, seperti Gambar 5. 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, dan *voltage drop* juga dikarenakan memiliki keunggulan yang sesuai dengan kondisi di lapangan seperti temperatur kerja yang tinggi (90°C), tahan panas (tidak mudah meleleh), tidak menghisap air, umur kabel yang relatif lama, dan tahanan isolasi yang tinggi (1019 ohm-cm).

Dalam pemasangan kabel 20 kV, kabel tidak boleh dibelokan 90° 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 5 sesuai dengan jenis kabel yang digunakan.

Apabila besar bending radius tidak diperhatikan, 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 mengakibatkan kerusakan pada peralatan, bahkan relai proteksi tidak mampu mengatasinya hingga timbul kebakaran.

Diperlukan perancangan untuk penambahan support agar kabel 20 kV tidak bergerak fleksibel akibat getaran pada UAT 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. Gambar 7 dan 8 menyajikan perancangan *support cable tray* pada *bushing* UAT.

Estimasi Biaya Pekerjaan Back feeding. Biaya *back feeding* yang akan dikeluarkan untuk pengoperasian *back feeding* dan telah dilakukan penambahan *support cable tray* pada *bushing* UAT. Biaya material dan biaya *man power* disajikan pada Tabel 6 dan 7.

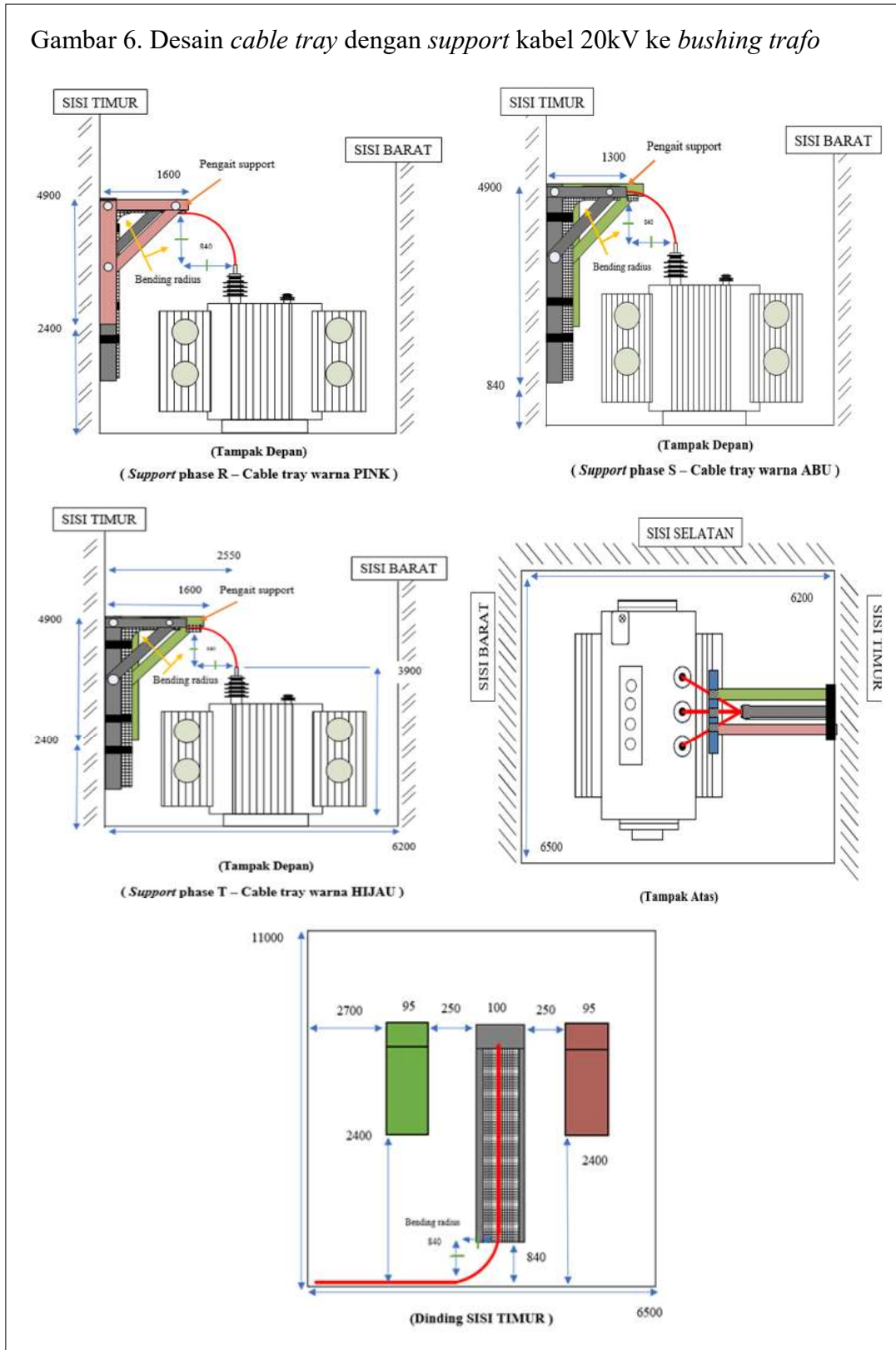
$$\begin{aligned} \text{Total Biaya Back feeding} &= \text{Biaya Material} + \text{Biaya Man Power} \\ &= \text{Rp } 1.088.898.389,00 + \text{Rp } 268.200.000,00 \\ &= \text{Rp } 1.357.098.389,00 \end{aligned}$$

Tabel 5

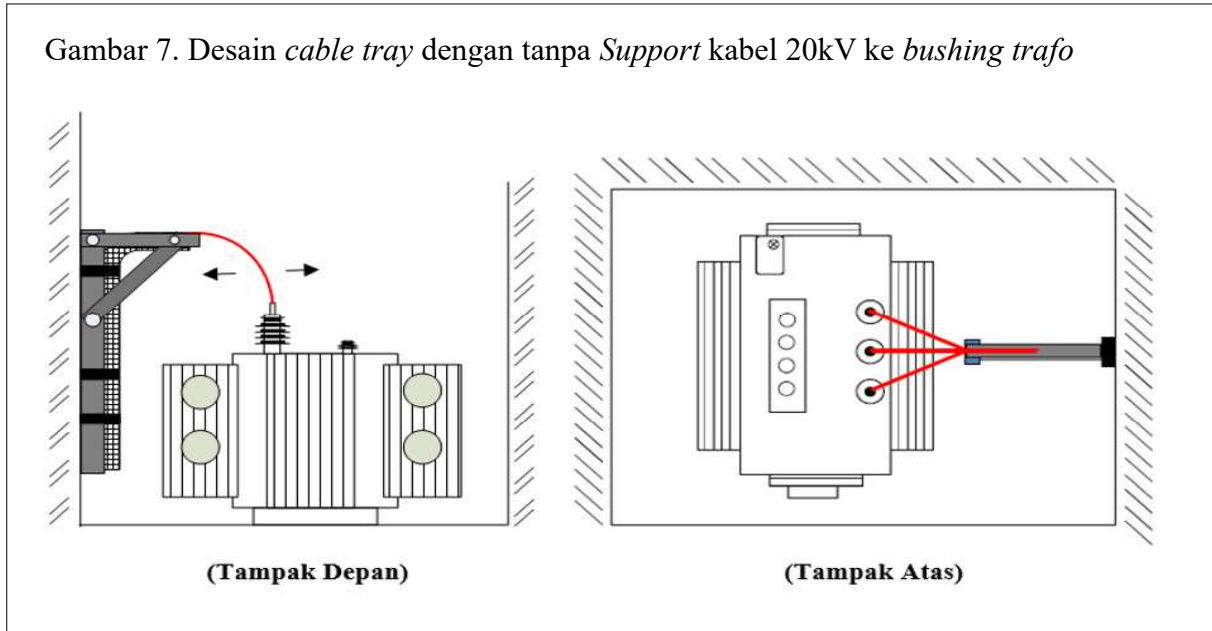
Spesifikasi kabel XLPE N2XSEBY 3x300 mm² (Supreme cable)

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	Kg/Km	4,900	5,600	6,600	7,800	8,900	10,100	11,700	14,900	20,800		
	AL		4,200	4,700	5,300	6,000	6,600	7,200	8,200	10,200	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		0.865	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	A	173	206	257	313	360	410	469	553	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)											

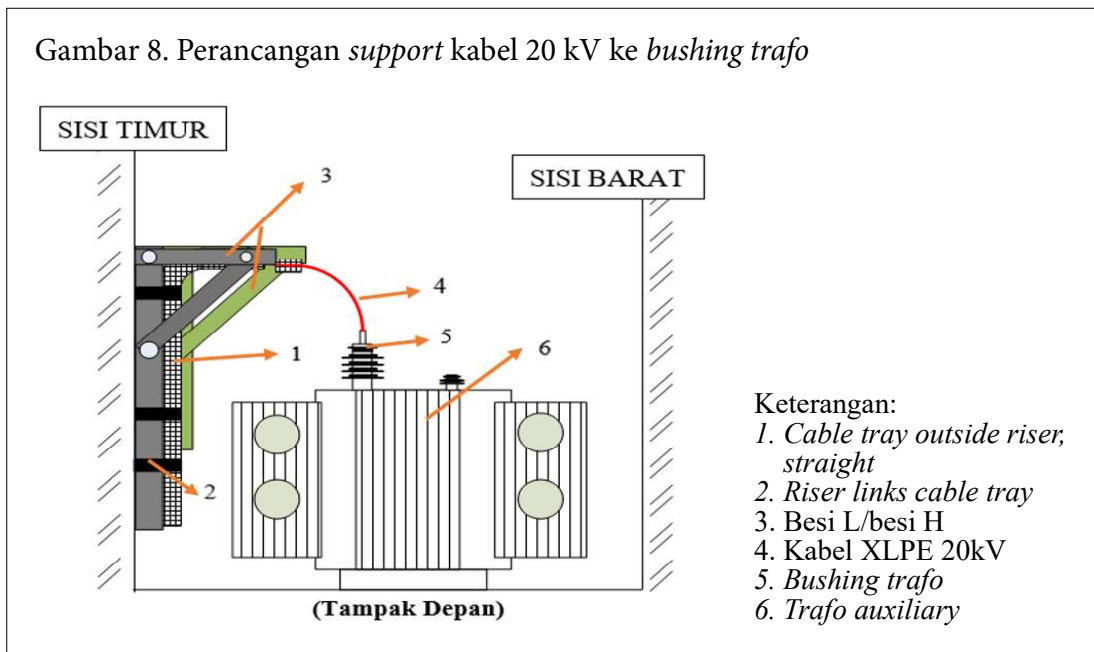
Gambar 6. Desain cable tray dengan support kabel 20kV ke bushing trafo



Gambar 7. Desain *cabl tray* dengan tanpa *Support* kabel 20kV ke *bushing trafo*



Gambar 8. Perancangan *support* kabel 20 kV ke *bushing trafo*



Apabila dalam pengerjaan konstruksi untuk proses *backfeeding* tidak dilakukan penambahan *support* bending radius kabel ke *bushing* UAT maka akan terjadi gangguan pada UAT. Salah satu gangguannya harus dilakukan penggantian UAT atau komponen di dalam UAT 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 menghasilkan daya 800-880MW. Sehingga dapat diketahui kWh yang akan dihasilkan.

Tabel 6
Estimasi perhitungan biaya material

Item	Volume	Harga per Satuan (Rp.)	Harga Total (Rp.)
Kabel XLPE 3x300 mm ²	2000 m	459.703,00	919.406.000,00
KwH meter	1 set	1.255.756,00	1.255.756,00
Jointing Kabel 20 kv 3x300 mm ²	4 set	5.830.150,00	23.320.600,00
Terminasi Kabel 20 kv 3x300 mm ²	4 set	2.278.559,00	9.114.236,00
Pipa PVC 6 inchi (5mm) tipe AW	12 m	633.560,00 (per 4 m)	1.900.680,00
Kubikel ISO LBS Motorize 24 kV, 630 A, 25 kA	1 unit	37.669.000,00	37.669.000,00
Kubikel N ISO CBOG 24 kV, 630 A, 12.5 kA	1 unit	70.095.413,00	70.095.413,00
Dinabol tray kabel (12x100mm)	60 buah	7.500,00	450.000,00
Tray Kabel	20 m	127.917,00	2.558.340,00
Besi L untuk tray kabel di trafo	80 kg	16.631,00	1.330.480,00
Plat joint baja	112 kg	9.700,00	1.086.400,00
Kawat BC 50 mm ²	40 m	29.711,00	1.188.440,00
Besi Kanal UNP Double	20 m	296.630,00	5.932.600,00
Patok Tanda Kabel	18 buah	45.558,00	820.044,00
CT 20 kV	3 buah	4.256.800,00	12.770.400,00
Total Biaya Material			1.088.898.389,00

Sumber: Ikatan Nasional Konsultan Indonesia (2017)

Tabel 7
Estimasi perhitungan biaya man power

Deskripsi	Jumlah	Waktu Bekerja	Biaya per Bulan (Rp.)	Biaya Total (Rp.)
<i>Technician</i>	8 orang	2 bulan	10.000.000,00	160.000.000,00
<i>Special Technician</i>	3 orang	2 bulan	11.700.000,00	70.200.000,00
<i>Surveyor</i>	2 orang	1 bulan	9.000.000,00	18.000.000,00
<i>Inspector</i>	2 orang	1 bulan	10.000.000,00	20.000.000,00
Total biaya man power				268.200.000,00

Sumber: Ikatan Nasional Konsultan Indonesia (2017)

KwH = Daya yang dihasilkan (Watt) x Jangka waktu (Jam)

KwH per Satu Hari = (800000 watt) x (24jam)
= 19200000 KwH

Kerugian per Satu Hari = KwH yang dihasilkan x Tarif per KwH
= 19200000 x Rp 1.699,53
= Rp 32.630.976.000,00

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

Kerugian yang diperoleh PT PLN akibat keterlambatan pengoperasian adalah sebagai berikut.

Total Kerugian per 1 Bulan = Kerugian per Satu Hari x Lama waktu pengerjaan
= (Rp 32.630.976.000,00) x (30hari)
= Rp 978.929.280.000,00

SIMPULAN

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 UAT 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 analisis perhitungan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa apabila penelitian ini diimplementasikan akan memiliki *saving* sebesar Rp 977.572.181.611,00 dalam 1 bulan instalasi kabel 20 kV, gain sebesar Rp978.929.280.000,00 per 1 bulan produksi kWh dan *benefit* yang lebih baik jika dibandingkan dengan menunggu kesiapan sumber daya listrik dari IBT sistem 500/150 kV dan tidak memperhatikan nilai bending radius kabel dalam instalasi perancangan alternatif sumber daya untuk pekerjaan *back feeding*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianda, R., Samsurizal, & Nurul, A. A. (2020). Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator distribusi studi gardu PT PLN (PERSERO) area Bekasi. *SUTET*, 10(1). <https://dx.doi.org/10.33322/sutet.v10i1.1277>.
- Andriyan, R. C., & Winarso (2021). Perencanaan kebutuhan daya dan instalasi listrik pada gedung Askrido Bogor. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 3(1), 35-46.
- Ikatan Nasional Konsultan Indonesia (INKINDO), 2017. *Pedoman standar minimal*. Dewan Pengurus Nasional Ikatan Nasional Indonesia.
- Lararenjana, E. (2022). Aplikasi adalah program dengan fungsi tertentu, ini pengertian dan jenisnya. <https://www.merdeka.com/>
- SNI [Standar Nasional Indonesia]. (2000). *Pedoman umum instalasi listrik [PUIL]*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI [Standar Nasional Indonesia]. (2000). *Persyaratan umum instalasi listrik [PUIL]*. Badan Standarisasi Nasional.
- PT. PLN (Persero) Jawa-2 Combine Cycle Power Plant (2017). *General plot plant* (Book IV Drawings)
- PT. PLN (Persero) Jawa-2 Combine Cycle Power Plant (2017). *GT transformer foundation, foundation plan, steel framing plan & details*.
- PT. PLN (Persero) Jawa-2 Combine Cycle Power Plant (2017). *Specification for unit auxiliary transformer*.
- Roza, I. (2018). Analisa penurunan cos phi dengan menentukan kapasitas bank pada pembangkit tenaga listrik pabrik kelapa sawit (PKS). *JESCE*, 2(1).
- Simangungsong, P. (2021). Prosedur pekerjaan saluran kabel bawah tanah tegangan menengah 20 kV (SKTM 20 KV) berbasis kehandalan dan keamanan. *Jurnal Insinyur Profesional*, 3, 35-46.
- Teguh. (2013). Jenis jenis kabel power standar penamaan SPLN dan IEC. teguh1645.blogspot.co.id.
- Zuhail, D. T. L. (1991). *Dasar tenaga listrik*. ITB Bandung.