



PERHITUNGAN *VOLTAGE DROP* UNTUK PENENTUAN PENGGUNAAN KABEL DC PADA PLTS *ROOFTOP* 1,7 MW_p DI PT PANVERTA CAKRAKENCANA

Dimas Kharisma Rezkie Pamungkas^a, Siti Diah Ayu Febriani^b

^aEnergi Terbarukan, Teknik Politeknik Negeri Jember

^bEnergi Terbarukan, Teknik Politeknik Negeri Jember

E-mail koresponden: dimaskrpamungkas11@gmail.com

Abstract

In everyday life electric energy is the main energy source that is widely used and needed by humans. Therefore, the quality and efficiency of electric power distribution must comply with the quality standards of electric power service. Power losses are energy lost in the distribution of electrical energy that is directly proportional to the value of the impedance of the channel and the magnitude of the load. One of the reviews regarding the feasibility of installing PLTS in DC cable systems is a study on the calculation of voltage drop. The voltage drop itself in PLTS installation is caused by several conditions, for example, such as imperfect connection between cables (MC4), poor MC4 crimping, distance between solar PV and inverter, and also too small cross-sectional area of the conductor. This study uses quantitative methods by determining the cross-sectional area usage of DC cables, and then determining using the cable brand with the smallest resistance value. After calculating the voltage drop, the next measurement is carried out directly using the multimeter. Direct measurements are made in order to find out the difference in calculations and measurements directly. It can be known that from the measurements that have been made the value of the highest voltage drop in the figure of 3.77%, the figure is almost the same as the calculation of the voltage drop of one circuit. The difference between the calculation results and the measurement results is very small and even a cable with a length of 524 meters is equal in the figure of 3.65%. The lowest voltage drop value is at 520 meters cable length by 3.53%.

Keywords: *Voltage, Cable, Resistance, Losses*

Abstrak

Dalam kehidupan sehari-hari energi listrik adalah sumber energi utama yang banyak digunakan dan dibutuhkan oleh manusia. Sehingga kualitas dan efisiensi penyaluran tenaga listrik harus sesuai dengan standar mutu pelayanan tenaga listrik. Losses atau bisa disebut rugi-rugi daya merupakan besar energi listrik yang hilang dalam penyaluran energi listrik yang mana berbanding lurus dengan nilai impedansi saluran dan besar beban. Salah satu tinjauan mengenai kelayakan pemasangan PLTS pada sistem kabel DC adalah kajian mengenai perhitungan *voltage drop*. *Voltage drop* sendiri pada instalasi PLTS disebabkan oleh beberapa kondisi, contohnya seperti sambungan antar kabel (MC4) tidak sempurna, *crimping* MC4 yang kurang baik, jauhnya jarak antara *solar PV* dengan inverter, dan juga luas penampang penghantarnya yang terlalu kecil. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan cara menentukan penggunaan luas penampang kabel DC, lalu menentukan menggunakan merek kabel dengan nilai hambatan yang paling kecil. Setelah menghitung *voltage drop* selanjutnya melakukan pengukuran secara langsung menggunakan multimeter. Pengukuran secara langsung dilakukan untuk mengetahui perbedaan pada perhitungan dan pengukuran secara langsung. Dapat diketahui bahwa dari pengukuran yang telah dilakukan nilai jatuh tegangan tertinggi di angka 3,77%, angka tersebut hampir sama dengan perhitungan jatuh tegangan satu sirkuit. Selisih dari hasil perhitungan dan hasil pengukuran sangat kecil dan bahkan kabel dengan panjang 524 meter sama di angka 3,65%. Nilai *voltage drop* terendah berada pada panjang kabel 520 meter sebesar 3,53%.

Kata Kunci: Tegangan, kabel, Hambatan, rugi-rugi

1. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari energi listrik menjadi sumber energi utama yang masif digunakan dan dibutuhkan oleh manusia. Sehingga kualitas dan efisiensi penyaluran tenaga listrik harus sesuai dengan standar mutu penyaluran tenaga listrik [1]. *Losses* atau bisa disebut rugi-rugi daya merupakan besar energi listrik yang hilang dalam penyaluran energi listrik yang mana berbanding lurus dengan nilai impedansi saluran dan besar beban.

Penggunaan Pembangkit Listrik energi baru terbarukan semakin mengalami peningkatan. Menurut Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM, energi terbarukan yang telah digunakan menyumbang 11,5% dari total energi primer nasional tahun 2020. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) saat ini menjadi pembangkit listrik energi terbarukan yang paling diminati saat ini. Namun, tegangan yang masuk ke inverter dengan tegangan yang dihasilkan PLTS cenderung memiliki perbedaan. Hal tersebut diakibatkan oleh adanya beberapa *factor* yang mempengaruhi salah satunya adanya *voltage drop* (jatuh tegangan).

Salah satu tinjauan mengenai kelayakan instalasi PLTS pada sistem kabel DC adalah kajian mengenai perhitungan *voltage drop*. Pada PT Panverta Cakrakencana jarak panel surya ke inverter lebih jauh dari jarak inverter ke beban atau LVMDP PT Panverta Cakrakencana, sehingga kemungkinan *voltage drop* lebih besar terjadi pada kabel DC. *Voltage drop* atau jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar.[2]

Pemilihan kabel DC pada sistem PLTS dapat dipengaruhi beberapa faktor, salah satunya adalah jatuh tegangan. Pemilihan kabel yang tepat akan memastikan kelancaran penyaluran energi listrik dari sumber ke beban. Sebelum melakukan instalasi PLTS di PT Panverta perlu dilakukan perhitungan terkait *voltage drop* untuk mengetahui penggunaan kabel yang tepat dan mengetahui nilai *voltage drop* apakah diijinkan menurut PUIL 2011.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan sebuah sistem yang digunakan sebagai pembangkit listrik dengan cara mengubah radiasi yang dihasilkan sinar matahari menjadi sebuah energi listrik dengan menggunakan sel surya. Sel surya terbuat dari sebuah bahan (Si) atau Semikonduktor Silikon murni berwujud lapisan-lapisan tipis yang disusun hingga menjadi modul surya. Hasil energi listrik PLTS adalah arus listrik DC yang akan dirubah menjadi arus listrik AC. PLTS memiliki beberapa komponen utama yaitu, modul surya yang menghasilkan listrik melalui sel surya, inverter digunakan untuk konversi arus listrik DC ke arus listrik AC baik menggunakan sistem dengan 1 fasa atau 3 fasa untuk kapasitas yang besar, Baterai dan *Charger Controller* yang berguna sebagai sistem penyimpanan Cadangan energi untuk PLTS, *monitoring* operasi serta sistem *control* untuk PLTS. PLTS dapat diaplikasi dengan berbagai bentuk instalasi, seperti PLTS *off-grid* dan PLTS *on-grid*. Perbedaan dari kedua sistem tersebut adalah metode penyimpanan dayanya. Penggunaan PLTS *on-grid* adalah dengan cara memanfaatkan energi sinar matahari dari sel surya untuk dikombinasikan dengan jaringan listrik yang sudah tersedia [3]. PLTS dengan *system off-grid* adalah sebuah sistem pada PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN dan dayanya disimpan di baterai.

2.2 Kabel

Kabel digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari suatu tempat (sumber) ke tempat lain (penerima). Kabel dapat terdiri dari satu kawat atau lebih yang setiap kabel biasanya diisolasi agar arus listrik yang melewati kawat dapat tersekat dengan aman. Isolator yang digunakan berupa berbagai jenis karet alami, karet vulkanisasi dan karet buatan. Selain isolasi kabel memiliki pelindung untuk melindungi isolasi. Sesuai dengan fungsinya, ada dua jenis kabel yaitu kabel untuk penyaluran tenaga listrik dan kabel untuk penyaluran sinyal listrik. Kabel untuk penyaluran tenaga listrik digunakan dibidang tenaga listrik, sedangkan kabel untuk penyaluran sinyal listrik digunakan untuk bidang telekomunikasi.

2.3 Tegangan

Tegangan/beda potensial adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan satu muatan (satu *coulomb*) pada elemen atau komponen dari satu tempat ke tempat lainnya. Makna kerja yang dilakukan adalah energi yang dikeluarkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa tegangan adalah energi per satuan muatan yang dinyatakan dalam satuan volt. Tegangan listrik adalah gaya pendorong perpindahan elektron melalui konduktor dan semakin tinggi tegangannya semakin besar pula kemampuannya untuk mendorong elektron melalui rangkaian[4]. Beda potensial/ tegangan dapat dicari menggunakan Hukum Ohm dengan V adalah tegangan listrik (*volt*), I adalah arus listrik (*ampere*), R adalah tahanan listrik (*ohm*) dengan persamaan (1) sebagai berikut ini.

$$V = I \times R \quad (1)$$

V = Tegangan

I = Arus

R = Hambatan

2.4 Jatuh Tegangan (*Voltage Drop*)

Jatuh tegangan atau biasa disebut *voltage drop* adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman (sumber) dengan tegangan ujung penerimaan. Jatuh tegangan yang besar membuat pihak konsumen/pelanggan banyak mengalami kerugian terutama berkurangnya umur dari perangkat elektronik yang digunakan konsumen. Perkembangan pembangunan yang pesat saat ini seringkali menyebabkan fasilitas jaringan listrik PLN tertinggal bila dibandingkan dengan peningkatan renovasi bangunan yang ada.

Penambahan konsumen membutuhkan pasokan energi listrik yang meningkat tiap tahunnya, sedangkan jaringan distribusi yang tidak ditingkatkan seiring peningkatan konsumen. Hal itu akan menyebabkan tegangan akan turun dibawah standar. Besarnya jatuh tegangan pada arus bolak balik tergantung dari impedansi saluran serta beban dan faktor daya[5]. Menurut PUIL tahun 2011 halaman 48, standar jatuh tegangan yang diperbolehkan adalah sebesar 4%[6].

2.5 Impedansi

Impedansi listrik, atau lebih biasa disebut impedansi, menjelaskan besar penolakan pada arus bolak-balik sinusoid. Impedansi listrik memperluas konsep resistansi listrik ke sirkuit AC, menjelaskan tidak hanya amplitudo relatif dari tegangan dan arus, akan tetapi juga fase relatif. Impedansi yaitu kuantitas kompleks yang simbolkan dengan Z dan istilah impedansi kompleks mungkin dapat dipertukarkan. Bentuk kutub secara praktis memperlihatkan baik karakteristik magnitudo dan fase.

2.6 Penyebab *voltage drop*

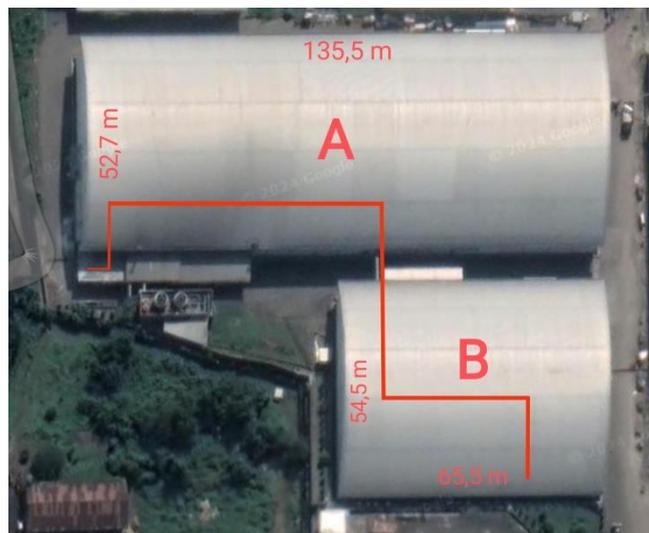
Voltage drop sendiri pada instalasi PLTS disebabkan oleh beberapa kondisi, contohnya seperti sambungan antar kabel (MC4) tidak sempurna, *crimping* MC4 yang kurang baik, jauhnya jarak antara *solar PV* dengan inverter, dan juga luas penampang penghantarnya yang terlalu kecil. *Voltage drop* terjadi karena adanya impedansi pada saluran dan beban, maka diantara sumber tegangan dan tegangan penerima ada perbedaan. Selisih tegangan itulah yang dinamakan dengan *voltage*[7].

2.7 Dampak *Voltage Drop*

Dampak negative dari *voltage drop* di lebih dari standart Menurut PUIL tahun 2011 halaman 48, standar jatuh tegangan yang diperbolehkan adalah sebesar 4% .dapat menyebabkan masalah seperti motor berjalan lambat, pemanas tidak mencapai temperature maksimal, lampu redup dan menurunya umur peralatan listrik. Pada PLTS *voltage drop* dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh PLTS sehingga kurang efisien.

2.8 Potensi *Voltage Drop* Pada PLTS PT Panverta Cakrakencana

Pada instalasi PLTS PT Panverta cakrakencana panjang kabel DC lebih panjang dari pada kabel AC. Pada instalasi kabel AC memiliki kabel terpanjang ±18 meter hal ini dikarenakan posisi inverter tepat berada di atas LVMDV milik PT Panverta, sedangkan pada instalasi kabel DC memiliki kabel terpanjang 264 meter. Dilihat dari panjang kabelnya potensi terjadinya *voltage drop* ada pada kabel DC lebih tinggi dari pada kabel AC, sehingga perhitungan *voltage drop* pada kabel DC lebih diutamakan pada jurnal ini. Maka dari itu perhitungan dan pengukuran *voltage drop* dilakukan dari output panel surya menuju ke inverter. Gambar Instalasi kabel DC dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terdapat gedung A dan gedung B yang masing-masing memiliki panjang 135,5 meter dan 69,5 meter dengan lebar 52,7 meter dan 54,5 meter.



Gambar 1. Denah Kabel DC Terpanjang

Dalam perhitungan dan penentuan penggunaan kabel DC ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut:

1. *Current rating*
2. *Grouping factor*
3. *Conductor resistance*
4. *Temperature factor*

2.9 Current Rating

Current rating saat ini didefinisikan sebagai daya dukung arus maksimum kabel daya dalam kondisi operasi normal. Peringkat kabel daya saat ini memutuskan batas atas transfer daya oleh kabel. Ini sebagian besar tergantung pada suhu isolasi dan hambatan listrik konduktor. Pada PLTS di PT Panverta Cakrakencana menggunakan kabel DC dengan luas penampang 6mm^2 dan dengan konfigurasi kabel pada permukaan kabe tray dan saling bersentuhan dengan kabel lainnya, dengan melihat tabel *maximum current rating* dalam IEC 60287 dapat diketahui nilai arus maksimal yang dapat mengalir. Gambar tabel *current rating* ditunjukkan pada Gambar 2.

Max. current rating for BETAflam[®] Solar cables
 at 120 °C / 248 °F – Ambient temperature 60 °C / 140 °F

Construction	Exposed	On surfaces without contact	On surfaces with contact	In conduit, casing, duct
mm ²	Current [A]			
2.5	41	39	33	28
4	55	52	44	36
6	70	67	57	44
10	98	93	79	53
16	132	125	107	80
25	176	167	142	106
35	218	207	176	134
50	276	262	221	166

Continuous duty with current loads as per above table.
 This results in a conductor temperature of 120 °C (calculation according IEC 60287).

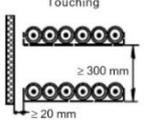
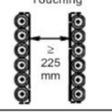
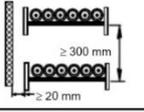
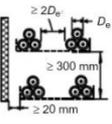
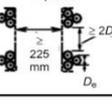
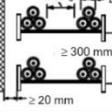
Gambar 2. Current Rating

Dapat diketahui dari Gambar 2 nilai arus maksimal yang dapat mengalir pada kabel DC adalah 57 Ampere.

2.10 Grouping Factor

Grouping factor merupakan faktor yang di sebabkan oleh peletakan kabel pada kabel tray. Posisi kabel dan jumlah kabel yang diletakan pada kabel tray dapat menyebabkan penurunan arus yang mengalir pada kabel. Arus nominal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 mengasumsikan bahwa masing-masing kabel bekerja seara terpisah, dengan tidak adanya kabel yang bekerja secara berdekatan, sehingga kabel satu dengan lainnya akan berpengaruh pada kenaikan temperatur satu dengan lainnya. Gambar 3 menunjukkan faktor koreksi berhubungan dengan metode *grouping* kabel. Sebagai catatan, untuk *grouping* kabel *side by side* dan tidak saling bersentuhan, penurunan rating arus cukup kecil, akan tetapi jika kabel-kabel tersebut diikat menjadi satu, maka penurunan rating arus akan cukup signifikan.

Table B.52.21 – Reduction factors for groups of one or more circuits of single-core cables to be applied to reference current-carrying capacity for one circuit of single-core cables in free air – Method of installation F in Tables B.52.8 to B.52.13

Method of installation in Table A.52.3		Number of trays or ladders	Number of three-phase circuits per tray or ladder			Use as a multiplier to current-carrying capacity for	
			1	2	3		
Perforated cable tray systems (note 3)	31		1	0,98	0,91	0,87	Three cables in horizontal formation
			2	0,96	0,87	0,81	
			3	0,95	0,85	0,78	
Vertical perforated cable tray systems (note 4)	31		1	0,96	0,86	–	Three cables in vertical formation
	2		0,95	0,84	–		
Cable ladder systems, cleats, etc. (note 3)	32, 33, 34		1	1,00	0,97	0,96	Three cables in horizontal formation
			2	0,98	0,93	0,89	
			3	0,97	0,90	0,86	
Perforated cable tray systems (note 3)	31		1	1,00	0,98	0,96	Three cables in trefoil formation
			2	0,97	0,93	0,89	
			3	0,96	0,92	0,86	
Vertical perforated cable tray systems (note 4)	31		1	1,00	0,91	0,89	
			2	1,00	0,90	0,86	
Cable ladder systems, cleats, etc. (note 3)	32, 33, 34		1	1,00	1,00	1,00	
			2	0,97	0,95	0,93	
			3	0,96	0,94	0,90	

Gambar 3. Grouping Factor

2.12 Conductor Resistance

Conductor resistance adalah sifat konduktor pada suhu tertentu, dapat didefinisikan sebagai besarnya hambatan yang ada terhadap aliran arus listrik melalui media penghantar. Resistansi suatu konduktor bergantung pada luas penampang konduktor, panjang konduktor, dan resistivitasnya. Dari Gambar 4 dapat diketahui resistansi konduktor pada kabel Kuka 6mm² adalah 3,39Ω/km.

Electric Characters
Voltage rating : DC 1.5KV
Temperature rating: -40°C to 120°C
Maximum conductor temperature : 120°C
Current rating 60°C: 70A
Spark test: AC-10kV/In the air
Conductor resistance : 3.39Ω/KM Max at 20°C
Weathering UV-resistance: 720h , No cracking
Thermal endurance properties: 25 Years
Short circuit temperature : 250°C max 5 s

Gambar 4. Datasheet Kuka Kabel 6mm²

2.13 Temperature Factor

Dalam pemilihan ukuran kabel sangat perlu memperhatikan kondisi temperatur. Untuk nominal arus pada Gambar 5 mengansumsikan temperatur tidak lebih dari 30 derajat celcius. Sedangkan untuk kondisi temperatur lain, maka dilakukan perkalian KHA (kuat hantar arus) dengan faktor koreksi berdasarkan kondisi temperatur pada Gambar 5.

Table B.52.14 – Correction factor for ambient air temperatures other than 30 °C to be applied to the current-carrying capacities for cables in the air

Ambient temperature ^a °C	Insulation			
	PVC	XLPE and EPR	Mineral ^a	
			PVC covered or bare and exposed to touch 70 °C	Bare not exposed to touch 105 °C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,78	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	–	0,65	–	0,70
70	–	0,58	–	0,65
75	–	0,50	–	0,60
80	–	0,41	–	0,54
85	–	–	–	0,47
90	–	–	–	0,40
95	–	–	–	0,32

^a For higher ambient temperatures, consult the manufacturer.

Gambar 5. Temperature Factor

2.14 Pemilihan Kabel DC

Pemilihan jenis dan ukuran kabel yang dipakai pada jaringan distribusi merupakan salah satu faktor yang harus diperhitungkan dalam perencanaan penggunaan kabel pada suatu sistem distribusi listrik. Jenis kabel yang memiliki nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil *voltage drop*. Besar resistansi pada suatu penghantar merupakan faktor utama *voltage drop* yang terjadi pada saluran distribusi energi listrik. Nilai resistansi pada suatu penghantar dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter. Berikut adalah persamaan resistansi penghantar disajikan pada persamaan (2)

$$R = \frac{\rho \times L}{A} \dots \dots \dots (2)$$

- R = Hambatan
- P = Massa Jenis
- L = Panjang Penghantar
- A = Luas Penampang

Dari persamaan (2) dapat diketahui tiga parameter yang mempengaruhi nilai resistansi suatu penghantar, yaitu panjang penghantar, bahan penghantar dan luas permukaan penghantar.

Panjang pada suatu penghantar tergantung dari jarak saluran distribusi ke konsumen. Sehingga nilai tersebut tidak dapat diubah secara bebas, sedangkan pada sistem saluran kabel DC di PLTS panjang penghantar tergantung dari jarak panel surya menuju inverter dan lokasi inverter pada PLTS di PT Panverta cakraencana sudah ditentukan dan disetujui oleh pihak PT Panverta cakraencana, maka dari itu panjang kabel DC tidak dapat dirubah secara bebas. Sedangkan resistivitas bahan tergantung dari bahan penghantar yang digunakan. Parameter ini dapat diubah-ubah tergantung dari pemilihan bahan penghantar yang digunakan. Selain itu parameter yang dapat diubah-ubah secara bebas adalah luas penampang dari penghantar. Dimana semakin besar penampang dari suatu penghantar akan mengurangi nilai resistansi saluran. Namun dalam pengubahan luas penampang penghantar juga harus memperhatikan faktor efisiensinya.

Dapat diketahui untuk mengurangi resistansi saluran pada jaringan distribusi, kita dapat mengganti jenis bahan penghantar yang digunakan dengan bahan yang nilai resistivitasnya rendah serta memperbesar luas permukaan penghantar. Kabel DC terbaik ditunjukan dengan nilai resistansi yang kecil. Kabel dengan nilai resistansi yang kecil memiliki *voltage drop* yang rendah, sehingga dalam pemilihan kabel DC yang baik harus memilih kabel DC yang memiliki nilai resistansi yang kecil.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam laporan magang yang berjudul perhitungan *voltage drop* untuk penentuan penggunaan kabel DC pada PLTS *rooftop* 1,7 MWp di PT Panverta Cakraencana menggunakan metode kuantitatif dengan cara menentukan penggunaan luas penampang kabel DC, lalu menentukan menggunakan merek kabel

dengan nilai hambatan yang paling kecil. Setelah kabel sudah ditentukan langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *voltage drop* pada kabel DC. Perhitungan dapat diketahui menggunakan persamaan (3) berikut ini.

$$vd = \frac{I \times R \times L}{\text{No.of runs} \times 1000} \quad (3)$$

I = Arus
R = Hambatan
L = Panjang Kabel
No of runs = jumlah fasa

Dan untuk persentase perhitungan *voltage drop* dapat dihitung dengan persamaan (4).

$$\%vd = \frac{vd}{v_{nDC}} \times 100\% \quad (4)$$

VD = *Voltage Drop*

V_{ndc} = Jumlah Tenggangan DC Yang Mengalir

Setelah menghitung *voltage drop* selanjutnya melakukan pengukuran secara langsung menggunakan multimeter. Pengukuran secara langsung dilakukan untuk mengetahui perbedaan pada perhitungan dan pengukuran secara langsung.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan Kabel DC

Pada instalasi PLTS di PT Panverta Cakrakencana kabel DC yang digunakan memiliki luas penampang dengan diameter 6mm². Ada beberapa merek kabel DC yang umumnya digunakan. Merek kabel DC yang digunakan seperti *Kuka cable*, *slocable*, *eland cable*. Spesifikasi merk kabel DC ditunjukkan seperti Gambar 4, Gambar 6, dan Gambar 7.

Specification
Conduct material: High resistant oxygen Copper, Tin Plated

Type	Cross section	Wire struct	Conductor diameter	Outer diameter	Conductor resistance	Rated voltage	Rated current	Weight
	mm ²	No. OD(mm)	mm	mm	Ω/Km	V AC/DC	A	kg/km
2x6mm ²	6	81X 0.3	3.3	7.1*14.50	3.52	600/1000	70	200

Physical properties

- 1) Rated voltage: AC 0.6 KV, DC 1 KV
- 2) Max. conductor temperature : +120 °C
- 3) Ambient temperature: -40 ~ +90 °C
- 4) Max. short circuit temp.: +280 °C/5S
- 5) Expected period of use ≥ 25 years; Warranty: 10 years
- 6) The smallest permissible bending radius: 5x outer diameter

Gambar 6. Datasheet *Slocable* 6mm

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA mm ²	MAXIMUM DC RESISTANCE OF CONDUCTOR AT 20°C ohms/km	MAXIMUM DC RESISTANCE OF CONDUCTOR AT 90°C ohms/km	CURRENT CARRYING CAPACITY Amps		
			Single Cable In Air	Single Cable On Surface	Two Cables Adjacent On Surface
1.5	13.70	17.468	30	29	24
2.5	8.21	10.468	41	39	33
4	5.09	6.490	55	52	44
6	3.39	4.322	70	67	57
10	1.95	2.486	98	93	79
16	1.24	1.581	132	126	107
25	0.795	1.013	176	167	142

Gambar 7. Datasheet *Eland Cable* 6mm

Dapat diketahui nilai resistansi dari ketiga merk kabel DC ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 6, dan Gambar 7. Kabel DC dengan merk *Kuka cable* memiliki nilai resistansi sebesar 3,39 Ω/km. Berbeda dengan kabel DC dengan merk *Slocable* memiliki nilai resistansi sebesar 3,52 Ω/km, sedangkan kabel DC dengan merk *Eland cable* memiliki nilai resistansi yang sama dengan merk *Kuka cable* yaitu 3,39 Ω/km. Nilai resistansi yang terkecil adalah merk *Kuka cable* dan *Eland cable*, dari kedua merk tersebut kabel DC dengan merk *Kuka cable* dipilih untuk instalasi kabel DC di PLTS PT Panverta Cakrakencana.

4.2 Perhitungan Volt Drop

4.2.1 Ampacity Correction

DC Current (I)	=	Max string's output current at 654,4 Vdc
DC Current (I)	=	13,45 A
Wire size Current rating	=	13,45 x 1,25
	=	16,8125 A
		Branch-circuit conductor to be sized no less than 125% of the continuous load
Cable selected	=	KUKA Cable 1 x 6mm ²
Current Carrying Capacity 60°C	=	57 A (adjacent on surfaced)
Correction Factor		
Ambient Temp 60°(K ₁)	=	0,5
Grouping factor (K ₂) (Table B.52.21)	=	0,87 Cable tray systems, cleats (Three cables in horizontal formation)
Total Correction Total	=	K ₁ x K ₂
	=	0,5 x 0,87
	=	0,435
Ampacity correction	=	0,435 x 57 A
	=	24,795 A

Gambar 1. Perhitungan *ampacity correction*

Ampacity correction yaitu kemampuan atau kuat hantar arus pada suhu tertentu yang dipengaruhi dengan *grouping factor* dan *ambient temperature*. Dari dokumen perhitungan *ampacity correction* dapat di ketahui arus yang direkomendasikan sebesar 24,795 A. yang artinya jika membuat rangkaian pada panel surya arus yang dihasilkan yang akan mengalir pada kabel sebaiknya tidak lebih dari 24 ampere.

4.2.2 Voltage Drop

Perhitungan voltage drop menggunakan persamaan 3

$$vd = \frac{13,45 \times 3,39 \times 264}{1 \times 1000}$$

$$Vd = 12,037 \text{ v}$$

Perhitungan persentase voltage drop menggunakan persamaan 4

$$\%vd = \frac{12,037}{654,4} \times 100\%$$

$$\%vd = 1,84\%$$

Berdasarkan perhitungan *voltage drop* dapat diketahui ukuran luas penampang kabel yang di gunakan adalah 6mm² dengan nilai jatuh tegangan sebesar 1,84%. Nilai 1,84% adalah nilai jatuh tegangan hanya satu kabel dengan panjang 264 meter. Perlu diketahui nilai tersebut merupakan nilai jatuh tegangan dengan 1 kabel dan yang digunakan pada kenyataannya adalah perhitungan jatuh tegangan pada satu sirkuit, maka dari itu pajang kabel perlu di hitung kedua kabel yaitu kabel plus dan kabel minus. Ukuran panjang kabel ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Panjang Kabel

Panjang 1 kabel (m)	Panjang kabel 1 sirkuit (m)
260	520
262	524
264	528

Voltage drop merupakan selisih tegangan pada 2 komponen yang terhubung dalam satu sistem[8]. Kabel yang digunakan adalah kabel DC merk kuka dengan luas penampang sebesar 6mm² dengan panjang kabel 1 sirkuit terpanjang 528 meter. Berikut merupakan perhitungan teoritis *voltage drop* menggunakan persamaan (3).

$$Vd = \frac{I \times R \times L}{\text{No.of runs} \times 1000}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{13,45 \times 3,39 \times 528}{1 \times 1000} \\ &= 23,7097 \text{ v} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai *voltage drop*, untuk mengetahui persentase *voltage drop* menggunakan persamaan (4).

$$\begin{aligned} \%Vd &= \frac{Vd}{VnDC} \times 100\% \\ &= \frac{23,7097}{654,4} \times 100\% \\ &= 3,62\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan persamaan 3 dan 4 didapatkan hasil perhitungan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Persentase *Voltage Drop*

Panjang kabel (m)	<i>Voltage drop</i> (V)	% <i>Voltage Drop</i>
520	23,70966	3,62
524	23,89204	3,65
528	24,07442	3,68

4.3 Pengukuran *Voltage Drop*

Pengukuran *voltage drop* dilakukan untuk mengetahui nilai *voltage drop* secara langsung dan memastikan sesuai atau tidak nya dengan hasil perhitungan.



Gambar 9. Pengukuran tegangan PV dan I radiasi



Gambar 10. Pengukuran tegangan Inverter

Terdapat juga hasil pengukuran *voltage drop* secara langsung yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran *Voltage Drop*

Panjang kabel (m)	Tegangan pv (V)	I Radiasi (W/m ²)	Tegangan inverter (V)	% <i>Voltage drop</i>
520	709	588,6	684	3,53%
524	713	745,2	687	3,65%
528	716	808,3	689	3,77%

Berdasarkan Tabel 4.3 kabel dengan panjang 520 meter tegangan pada pv sebesar 709 volt saat di tegangan ukur pada inverter turun menjadi 684 volt nilai *voltage drop* sebesar 3,53%. Pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa dari pengukuran yang telah dilakukan nilai jatuh tegangan tertinggi di angka 3,77%, angka tersebut hampir sama dengan perhitungan jatuh tegangan satu sirkuit. Selisih dari hasil perhitungan dan hasil pengukuran sangat kecil dan bahkan kabel dengan panjang 524 meter sama di angka 3,65%. Nilai *voltage drop* terendah berada pada panjang kabel 520 meter sebesar 3,53%. Pada hasil pengukuran dan hasil perhitungan terdapat perbedaan hal ini kemungkinan dapat terjadi karena adanya kekurangan pada saat pengukuran, seperti probe yang tidak terhubung secara sempurna. Dapat diketahui jika semakin panjang ukuran kabel maka nilai *voltage drop* juga semakin tinggi. Data pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai *drop* tegangan pada masing-masing kabel masih dalam standar PUIL 2011 yang mana Standar *voltage drop* yang diijinkan sebesar 4% dari tegangan sumber (PUIL, 2011). Dari hasil pengukuran *voltage drop* pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa penggunaan kabel 6mm² dapat dikatakan sesuai karena masih di bawah 4% yaitu 3,53%; 3,65%; dan 3,77%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi magang yang sudah dilakukan di PT Futura Energi Indonesia dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Penggunaan kabel yang tepat untuk PLTS di PT Panverta Cakrakencana adalah 6mm²
2. Diperoleh dari hasil perhitungan nilai *voltage drop* pada kabel terpanjang dengan jarak 520, 524, dan 528 meter berturut-turut adalah 3,62%, 3,65% dan 3,68%.
3. Perbandingan antara hasil perhitungan dan hasil pengukuran *voltage drop* pada pengukuran nilai yang di peroleh yaitu 3,53%, 3,65% dan 3,77%. Pada kabel 520 meter hasil perhitungan lebih tinggi dari pengukuran. Pada 524 meter nilai *voltage drop* sama sebersar 3,65%. Pada kabel 528 meter hasil pengukuran lebih tinggi dari hasil perhitungan.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini hanya mengukur *voltage drop* dengan menggunakan multi meter, untuk penelitian/pengembangan selanjutnya dapat mengukur *smart data logger* agar mendapat data *realtime* yang lebih presisi.
2. Pada penelitian selanjutnya pengukuran dapat dilakukan ketika panel surya diberi beban untuk mengetahui *voltage drop* ketika kondisi Vmp.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada keluarga saya serta rekan rekan Teknik Energi Tebarukan Politeknik Negeri Jember yang telah mensupport dalam pembuatan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Octary, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "Susut Tegangan pada Penghantar ACCC di Saluran Transmisi 150 kV di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Pekanbaru," *SainETIn*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.31849/sainetin.v5i1.6275.
- [2] M. A. Ansori, W. Handajadi, and G. Santoso, "Analisa Drop Tegangan Pada Sistem Jaringan Tegangan Menengah Pt. Pln (Persero) Apj Yogyakarta 20 Kv Menggunakan Software Etap 16.0," *J. Elektr.*, vol. 6, no. 1, pp. 41–47, 2019, [Online]. Available: <https://journal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/2134>
- [3] S. Nyoman, N. Suparta, and W. Teresna, "PERBANDINGAN SUPLAI ENERGI PANEL SURYA POLYCRYSTALLINE PADA PLTS ON-GRID I Nyoman sugiarta 1) , I Nengah Suparta," *Semin. Nas. Terap. Ris. Inov. Ke-6 ISAS Publ. Ser. Eng. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 285–292, 2020.
- [4] R. JULIANTO, "Rancang Bangun Kontrol Ac To Dc Converter Satu Fasa," 2019, [Online]. Available: <http://eprints.polsri.ac.id/id/eprint/7943>

- [5] A. Tanjung, "Analisis Kinerja Sistem Kelistrikan Fakultas Hukum Universitas Lancang Kuning Pekanbaru," *Akprind*, no. November, pp. 310–317, 2015.
- [6] SNI, "General electrical installation requirements (PUIL) 2011," *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. PUIL, pp. 1–133, 2011.
- [7] B. J. Angkouw, H. F. Tumaliang, and N. M. Tulung, "Analysis of Power Loss and Voltage Drop in the North Minahasa Area Distribution Network," *Tek. Elektro dan Komput.*, pp. 1–9, 2023.
- [8] Subianto, "Sistem Distribusi ANALISA RUGI-RUGI DAYA DAN DROP TEGANGAN DARI SISI EKONOMIS PADA PENYULANG HARPA DI PLTU BATURAJA PT. PLN (PERSERO) AREA LAHAT," *J. Univ. Palembang*, pp. 43–51, 2018, [Online]. Available: <http://123dok.com>