

STUDI KAPASITAS GARDU DISTRIBUSI

Oleh:

Raja Harahap ¹⁾

Janter Napitupulu ²⁾

Danur Rahman ³⁾

PT. Sinar Mutiara Engindo ¹⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{2,3)}

E-mail :

Harahapraja910@gmail.com ¹⁾

jnapitupulu96@gmail.com ²⁾

danurrahman@gmail.com ³⁾

ABSTRACT

This study discusses the capacity of distribution substations. Ground cable is basically an arrangement of conductors that are woven together, then coated with insulation and protective material with a metal coat, so that the conductors are resistant to destructive influences. In a conductor, the thing that counts is the resistance. The electric current that flows always experiences resistance from the conductor itself, the amount of resistance depends on the material. Underground power distribution system by direct laying, in this system the ground cable is placed directly in the ground and covered with sand and bricks as a protection against mechanical pressure from above. Cable planting is carried out based on the conductivity of the conductor which is planned to meet the load power of 10.377 KW on transformer 1 and 81,466 KW on transformer 2.

Keywords: *Cable, Distribution Substation, Resistivity.*

ABSTRAK

Studi ini membahas kapasitas gardu distribusi. Kabel tanah pada dasarnya berupa susunan konduktor-konduktor yang di anyam menjadi satu, kemudian dilapisi isolasi dan bahan pelindung dengan mantel logam, sehingga konduktor-konduktor tersebut tahan terhadap pengaruh-pengaruh yang merusak. Pada suatu penghantar, hal yang diperhitungkan adalah tahanan. Arus listrik yang mengalir selalu mengalami tahanan dari penghantar itu sendiri, besarnya tahanan tergantung dari bahannya. Sistem distribusi tenaga listrik saluran bawah tanah dengan cara peletakan langsung, pada sistem ini kabel tanah diletakkan langsung didalam tanah dan dilapisi dengan pasir serta batu bata sebagai pelindung terhadap tekanan mekanis dari atas. Penanaman kabel dilakukan berdasarkan kemampuan hantar dari penghantar yang direncanakan untuk memenuhi daya beban 10,377 KW pada trafo 1 dan 81,466 KW pada trafo 2.

Kata Kunci: *Kabel, Gardu Distribusi, Resistifitas.*

1. PENDAHULUAN

Tenaga listrik semakin hari dirasakan semakin dibutuhkan manusia untuk menunjang kehidupan sehari-hari, dimana tenaga listrik tersebut harus dapat dengan mudah disalurkan kepada konsumen.

Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat tenaga listrik yang disalurkan melalui saluran transmisi. Dari saluran transmisi daya listrik disalurkan ke titik pelayanan konsumen melalui saluran distribusi. Tegangan pada sisi konsumen adalah 20 KV dan 380V/220 V, dan keandalan peralatan pengamanan jaringan distribusi menjadi ketentuan. Sistem penyaluran tenaga listrik ada dua cara yaitu saluran hantaran udara dan saluran bawah tanah (Under Ground Cable). Untuk saluran hantaran udara, tenaga listrik disalurkan melalui kawat yang di gantung pada tiang-tiang tower dengan suatu penopang yang disebut isolator, sedangkan saluran bawah tanah lebih baik karena berupa kabel tanam yang tidak dipengaruhi oleh cuaca buruk, angin, sambaran petir, dan lebih menambah keindahan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem distribusi adalah bagian sistem dari tenaga listrik yang menghubungkan sumber daya besar (Bulk Power Source) hingga ke rangkaian pelayanan atau konsumen pemakai jasa listrik.

Jadi sebagai fungsi yang utama dari suatu sistem distribusi adalah menyalurkan daya listrik dari sumber daya ke pemakai (konsumen) daya listrik.

Pemilihan dan penentuan jenis sistem distribusi yang umum digunakan tergantung pada daerah beban, baik menurut kerapatannya maupun lokasinya.

Didalam sistem distribusi ada empat bentuk jaringan sistem distribusi primer yang digunakan yaitu: 1. Jaringan distribusi sistem radial, 2. Jaringan sistem distribusi ring (loop), 3. Jaringan sistem distribusi grid, 4. Jaringan sistem distribusi spindel.

Dalam penyaluran tenaga listrik ini dapat dipergunakan dengan dua cara yaitu: 1. Saluran hantaran udara dan 2. Saluran bawah tanah.

Kedua sistem penyaluran tenaga listrik tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Penyaluran daya listrik melalui kabel bawah tanah, mempunyai keuntungan antara lain: 1. Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk dan alam sekitarnya, 2. Terhindar dari bahaya petir, hujan, angin, dan lain sebagainya, 3. Sangat cocok diterapkan pada daerah yang padat penduduknya, 4. Memberikan kesan indah dan rapi, 5. Umur peralatan (kabel) dapat mencapai ± 50 tahun, 6. Aman terhadap masyarakat sekitar.

Kerugian kabel bawah tanah dibandingkan saluran hantaran udara yakni: 1. Biaya pembangunan jauh lebih mahal, 2. Teknik pemasangan lebih sulit dan memerlukan waktu yang sangat lama, 3. Apabila terjadi gangguan pada saluran bawah tanah maka sulit menentukan letak gangguan, 4. Pada tegangan tinggi atau ekstra tinggi timbul persoalan pada bahan isolasi kabel, disamping mahalnya bahan tersebut, 5. Sulitnya penyambungan pada kabel bawah tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kabel Penghantar

Kabel tanah pada dasarnya berupa susunan konduktor-konduktor yang di anyam menjadi satu, kemudian dilapisi isolasi dan bahan pelindung dengan mantel logam, sehingga konduktor-konduktor tersebut tahan terhadap pengaruh-pengaruh yang merusak. Kabel sangat berguna untuk distribusi tegangan rendah, terutama didaerah yang sangat

padat penduduknya, dan pada umumnya kabel bawah tanah tegangan menengah terdiri dari beberapa buah konduktor, dimana setiap konduktor dilapisi dengan bahan isolasi.

3.2 Tahanan (R)

Pada suatu penghantar, hal yang diperhitungkan adalah tahanan. Arus listrik yang mengalir selalu mengalami tahanan dari penghantar itu sendiri, besarnya tahanan tergantung dari bahannya.

Besar tahanan jenis suatu kawat penghantar dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$R = \rho L/A$$

Dimana: R = Besar tahanan dalam satuan ohm, L = Panjang kawat dalam satuan meter, A = Luas penampang kawat dalam satuan ohm mm², ρ = Tahanan jenis penghantar dalam satuan ohm mm²/m.

Karena pada umumnya kawat-kawat penghantar terdiri dari kawat pilin (stranded conductors) maka sebagai faktor koreksi untuk memperhitungkan pengaruh dari pilin itu, panjang kawat dikalikan dengan 1,02 (2% faktor koreksi).

Tahanan kawat berubah oleh temperatur. Dalam batas temperatur 10°C sampai 100°C, maka untuk kawat tembaga dan aluminium berlaku rumus:

$$R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha_{t_1} (t_2 - t_1)]$$

$$= \frac{1}{T_0 + t_1}$$

Dimana: R_{t₂} = Tahanan pada temperatur t₂, R_{t₁} = Tahanan pada temperatur t₁, α_{t₁} = Koefisien temperatur dari tahanan pada temperatur t₁ C°.

Jelas kelihatan bahwa T₀ ialah temperatur dimana tahanan kawat akan menjadi nol, bila persamaan linier yang sama berlaku untuk daerah temperatur itu. Bila ini benar maka T₀ adalah sama dengan temperatur absolut 273°C. Untuk tembaga (Cu) yang mempunyai konduktivitas 100%, koefisien temperatur dari tahanan pada 20°C adalah:

$$\alpha_{20} = 0,00393$$

$$T_0 = (1/0,00393) - 20$$

$$= 234,5^\circ\text{C}$$

Untuk konduktivitas yang lain dari tembaga, α berubah langsung dengan konduktivitasnya. Jadi untuk konduktivitasnya 97,5%.

$$\alpha_{20} = 0,00383 \text{ dan } T_0 = 241,0^\circ\text{C}$$

Untuk aluminium (Al) dengan konduktivitas 61%,

$$\alpha_{20} = 0,00403 \text{ dan } T_0 = 228,1^\circ\text{C}$$

Tabel 1. menunjukkan harga-harga T₀ dan α dan Tabel 3.2 nilai resistifitas konduktor.

Tabel 1. Harga-harga T₀ dan α untuk bahan-bahan konduktor standar.

Material	T ₀ °C	Koefisien temperatur dari tahanan x 10 ⁻³						
		α ₀	α ₂₀	α ₂₅	α ₅₀	α ₇₅	α ₈₀	α ₁₀₀

C _u 100%	234,5	4,27	3,93	3,85	3,52	3,25	3,18	2,99
C _u 97,5%	241,0	4,15	3,83	3,76	3,44	3,16	3,12	2,93
Al 61%	228,1	4,38	4,03	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05

Tabel 2. Resistivitas dari bahan konduktor standar untuk berbagai temperatur.

Material	Koefisien temperatur dari tahanan x 10 ⁻³						
	ρ ₀	ρ ₂₀	ρ ₂₅	ρ ₅₀	ρ ₇₅	ρ ₈₀	ρ ₁₀₀
C _u 100%	1,58	1,72	1,75	1,92	2,09	2,12	2,26
C _u 97,5%	1,63	1,77	1,80	1,97	2,14	2,18	2,31
Al 61%	2,60	2,83	2,89	3,17	3,46	3,51	3,74

Tahanan DC(R₂₅) dari konduktor 253 mm² pada 25°C. Misalkan C_u 97,5%.

$$\begin{aligned} \rho_{25} &= 1,8 \text{ mikro-ohm-cm} \\ L &= 1 \text{ km} = 10^5 \text{ cm} \\ A &= 253 \text{ mm}^2 = 253 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \\ R_{25} &= \rho_{25} \frac{l}{A} \\ &= 1,8 \times 10^{-6} \times \frac{10^5}{253 \times 10^{-2}} \\ &= 0,0711 \text{ Ohm/Km} \end{aligned}$$

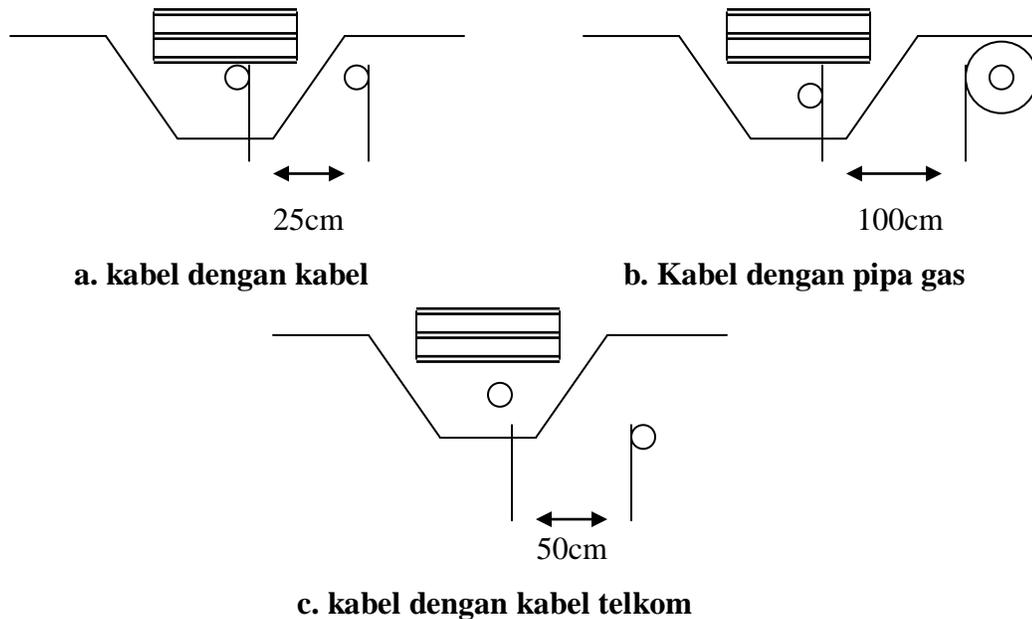
Dengan memperhitungkan pengaruh lapisan (umumnya konduktor-konduktor terdiri dari lebih 3 lapis),

$$\begin{aligned} R_{25} &= 1,02 \times 0,0711 \\ &= 0,0726 \text{ Ohm/km} \end{aligned}$$

3.3. Metode Penanaman Kabel

Ada beberapa cara penanaman kabel antara lain:

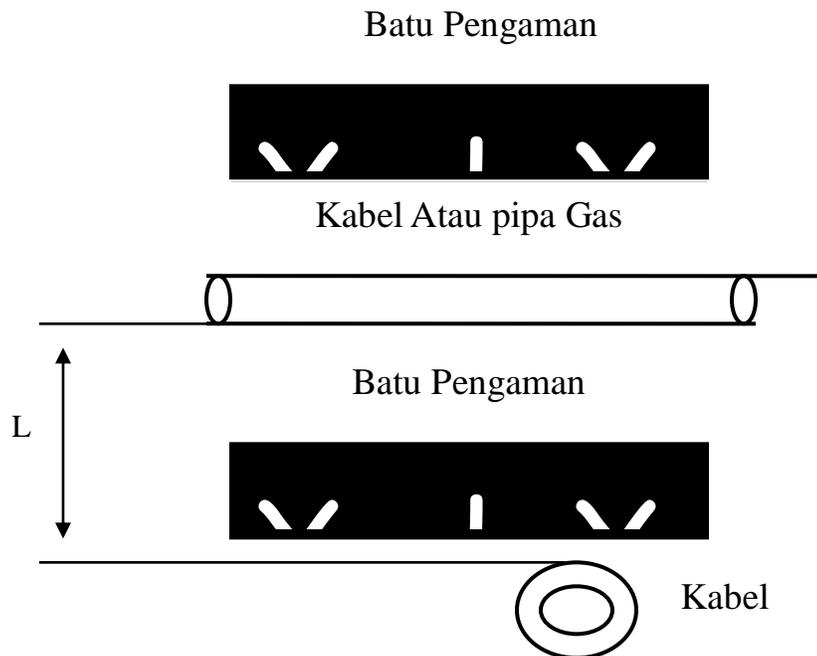
1. Beberapa kabel ditanam sejajar dengan kabel telkom dan pipa gas.



Gambar 1. kabel ditanam sejajar

2. Kabel ditanam menyilang

Kabel boleh ditanam menyilang dengan kabel Telkom atau Gas, jarak yang diperbolehkan adalah kabel dengan pipa gas lebar 100 cm dan kabel dengan kabel Telkom lebarnya 50 cm.



Gambar 2. Kabel ditanam menyilang pipa gas atau kabel telkom.

3.4. Penarikan Kabel Bawah Tanah

Pada umumnya penarikan kabel dapat dilakukan dengan dua cara yaitu: 1. Penarikan dengan tenaga manusia, 2. Penarikan dengan roller yang digerakkan dengan motor.

Langkah-langkah penarikan kabel dilakukan sebagai berikut: 1. Kabel dilepaskan dari drum ditarik dan digelar secara hati-hati, tidak boleh sampai melilit, 2. Radius lengkung kabel selama penarikan harus benar dari penekukan minimum yang diizinkan, 3. Kabel ditarik oleh pekerja-pekerja yang terdiri dari jarak teratur sepanjang galian (satu orang satu roller, dengan jarak masing-masing kurang lebih 3m), 4. Kabel ditarik dengan sentakan-sentakan berurutan, 5. Setiap pekerja menarik kabel pada saat terdengar aba-aba, 6. Penarikan kabel harus hati-hati agar tidak terjadi gesekan-gesekan yang dapat menyebabkan kerusakan pada isolasi kabel penekukan dengan radius kurang dari persyaratan minimum yang diizinkan sedangkan untuk kabel yang masuk kerumah-rumah, perhatikan kabel juga dilakukan melalui saluran bawah tanah secara langsung dari service pillar KWH-meter.

3.5. Jenis Kabel Bawah Tanah

Dalam jaringan distribusi yang merupakan bagian dari sistem penyaluran daya terdapat peraturan-peraturan yang menunjang kelangsungan penyaluran daya semua komponen untuk sistem distribusi bawah tanah harus mampu beroperasi walaupun semuanya terendam dalam air, baik untuk sewaktu-waktu maupun persyaratan dan sistem yang khusus untuk melindungi peralatan dan kelembapan.

Kabel tanam dapat digolongkan berdasarkan isolasi dan perisainya antara lain:

1. Kabel Tanah Thermoplastik Tanpa Perisai

Kabel tipe ini banyak digunakan sebagai kabel tenaga untuk industri didalam saluran maupun didalam gedung maupun di alam terbuka, didalam saluran maupun didalam lemari hubung bagi, apabila dapat diperkirakan tidak ada gangguan mekanis, kabel ini dapat ditanam didalam tanah asalkan diberi pelindung secukupnya terhadap kemungkinan terjadinya gangguan-gangguan mekanis serta akibat gangguan lainnya. Salah satu jenis kabel bawah tanah thermoplastic tanpa perisai adalah kabel NYY.

2. Kabel Tanah Thermoplastik Berperisai.

Kabel tipe ini diantaranya, menggunakan perisai yang dikenal dengan jenis NYFGbY, NYRGbY atau sejenisnya, NYBY dan NAYBY.

Arti huruf-huruf kode yang digunakan ialah:

N	:	Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga
NA	:	Kabel jenis standar dengan penghantar aluminium
Y	:	Isolasi atau selubung PVC
F	:	Perisai kawat baja pipih
R	:	Perisai kawat baja bulat
Gb	:	Spiral pita baja
Re	:	Penghantar padat bulat
Rm	:	Penghantar bulat kawat banyak.
Se	:	Penghantar bulat bentuk sector
Sm	:	penghantar kawat banyak bentuk sector
B	:	Perisai pita baja
A	:	Penghantar aluminium atau kabel berisolasi tunggal (Selubung perlindungan Luar/goni)
K	:	Selubung timbal

Tabel 3. Kabel menurut Kelistrikananya

Conductors			Inductance (mH/km)	Current Carrying Capacity at 30°C		Short Circuit Current at 1 sec (kA)
Nom. Cross Sect (mm) ²	Resistance at 20°C (Ω/km)	Resistance at 70°C (Ω/km)		In air (A)	In ground (A)	
1.5	12.1	14.478	0.351	20	23	0.17
2.5	7.41	8.866	0.315	27	31	0.29
4	4.61	5.516	0.303	36	41	0.46
6	3.08	3.685	0.288	45	52	0.69
10	1.83	2.190	0.269	62	69	1.15
16	1.15	1.376	0.255	82	90	1.84
25	0.727	0.870	0.255	108	116	2.88
35	0.524	0.627	0.246	133	139	4.03
50	0.387	0.464	0.247	166	171	5.75
70	0.268	0.321	0.238	208	209	8.05
95	0.193	0.232	0.238	255	250	10.93
120	0.153	0.184	0.233	295	284	13.80
150	0.124	0.150	0.233	237	318	17.25
185	0.0991	0.121	0.233	287	359	21.28
240	0.0754	0.093	0.232	457	414	27.60
300	0.0601	0.075	0.231	523	466	34.50

4. Saluran Hantaran Bawah Tanah

Bila, pendistribusian tenaga listrik ke Panel adalah menggunakan kabel NYFGbY (4 x 95) x 2 mm² yang disesuaikan dengan kemampuan daya hantar arus, maka kemampuan hantar arus kabel yang berurat 3 atau 4 untuk kabel bawah tanah adalah 400 A. Sedangkan untuk penghantar dari Panel ke kontak KWH – meter digunakan kabel NYA (2 x 10 mm²) dan untuk kabel dari KWH – meter ke MCB digunakan NYA (2 x 6 mm²) yang dilapisi pipa PVC.

Fungsi dari LVC adalah sebagai penyalur tegangan dari sekunder trafo untuk disalurkan ke service-service pilar dan selanjutnya dari service pilar inilah tegangan akan disalurkan ke kontak KWH – Meter yang terpasang pada masing-masing rumah konsumen.

Dari LVC ini tegangan fasa ke fasa 380 Volt, fasa ke tanah 220 Volt didistribusikan ke konsumen melalui jurusan-jurusan jaringan tegangan rendah JTR. Pemilihan jurusan JTR didasarkan pada lokasi penyebaran beban dimana jumlah jurusan disesuaikan dengan kapasitas beban yang di layani.

Bila, skema tinjauan adalah Gardu 1 dan 2 serta Trafo 1 dan 2 pada Tabel 4. sebagai berikut :

Tabel 4. Skema gardu dan Trafo

Gardu	Panel	Arus (Amp)
Gardu 1 Trafo 1	Panel 3	75,6
	Panel 2	69,3
	Panel 1	65,52
Gardu 1 Trafo2	Panel 4	73
	Panel 5	83,68

Penghantar yang digunakan untuk sistem bawah tanah ada lima (5) jenis dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Kabel NYFGbY (4x95)x2 mm²
- Kabel NYFGbY (4x120) mm²
- Kabel NYFGbY (4x50) mm²
- Kabel NYFGbY (4x70) mm²
- Kabel NYFGbY (4x150) mm²

Tahanan jenis (resistivitas) dari bahan tembaga adalah $1,72 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$

Dari data – data di atas, maka kita dapat menghitung nilai tahanan dan drop tagangan untuk masing – masing penghantar dan rugi-rugi daya pada Trafo ditunjukkan pada Tabel 5, Tabel 6. dan Tabel 7.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Tahanan

Gardu	Panel	Nilai Tahanan
Gardu 1 Trafo 1	Trafo 1 ke panel 3 ± 130m (NYFGbY (4x95)x2mm ²)	$233 \times 10^{-4} \Omega$
	Panel 3 ke panel 2 ± 81m (NYFGbY (4x150)mm ²)	$328 \times 10^{-4} \Omega$
	Panel 2 ke panel 1 ± 174m (NYFGbY (4x50)mm ²)	$926 \times 10^{-4} \Omega$
Gardu 1 Trafo 2	Trafo 2 ke Panel LP ± 86m (NYFGbY (4x95)mm ²)	155×10^{-4}
	Panel LP ke Panel 4 ± 179m (NYFGbY (4x70)mm ²)	594×10^{-4}
	Panel 4 ke Panel 5 ± 84 m (NYFGbY (4x50)mm ²)	$882 \times 10^{-4} \Omega$

Tabel 6. Nilai Drop Tegangan

Gardu	Panel	Drop Tegangan
Gardu 1 Trafo 1	Panel 3 (Kabel NYFGbY (4x95)x2 mm ²)	1,7 Volt
	Panel 2 (Kabel NYFGbY (4x150)mm ²)	2,2 Volt
	Panel 1 (Kabel NYFGbY (4x50)mm ²)	6,06 Volt
Gardu 1 Trafo 2	Panel 4 (Kabel NYFGbY (4x70)mm ²)	4,3 Volt
	Panel 5 (Kabel NYFGbY (4x50)mm ²)	7,3 Volt

Tabel 7. Perhitungan Rugi – Rugi Daya

Gardu	Panel	Rugi – Rugi Daya Pada Trafo
Gardu 1 Trafo 1	Panel 3	133,16 Watt
	Panel 2	157,52 Watt
	Panel 1	397,51 Watt
Gardu 1 Trafo 2	Panel 4	316,54 Watt
	Panel 5	617,60 Watt

Perhitungan Total Daya Keseluruhan yang Dipakai oleh Beban Gardu 1, Trafo 1

$$P_{CU} \text{ (total)} = 133,16 \text{ Watt} + 157,52 \text{ Watt} + 397,51 \text{ Watt} \\ = 688,63 \text{ Watt}$$

Trafo 2.

$$P_{CU} \text{ (total)} = 316,54 \text{ Watt} + 617,60 \text{ Watt} \\ = 934,14 \text{ Watt}$$

Sedangkan besar daya yang disalurkan pada saat beban puncak adalah :

Trafo 1

$$P_{\text{beban puncak}} = V \times I \cos \varphi \\ = \sqrt{3} \times 380 \text{ Volt} \times 210,42 \text{ Amp} \times 0,8 \\ = 11.066 \text{ Watt}$$

Trafo 2

$$P_{\text{beban puncak}} = V \times I \cos \varphi \\ = \sqrt{3} \times 380 \text{ Volt} \times 156,68 \text{ Amp} \times 0,8 \\ = 82.401 \text{ Watt}$$

Setelah kita peroleh daya pada saat beban puncak maka kita dapat menghitung besar daya keseluruhan yang sampai ke beban pada trafo,

Gardu 1, Trafot1

$$P_{\text{Beban}} = P_{\text{Beban puncak}} - P_{CU} \text{ (total)} \\ = 11.066 \text{ Watt} - 688,63 \text{ Watt} \\ = 10.377,37 \text{ Watt}$$

Trafo 2

$$\begin{aligned} P_{\text{Beban}} &= P_{\text{Beban puncak}} - P_{\text{CU (total)}} \\ &= 82.401 \text{ Watt} - 934,14 \text{ Watt} \\ &= 81.466,86 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tabel 8. Perhitungan Total daya keseluruhan yang Dipakai Beban

Gardu	Trafo	Total Daya Keseluruhan
Gardu 1	Trafo 1	10,377 KW
	Trafo 2	81,466 KW

5. SIMPULAN

1. Untuk sistem distribusi tenaga listrik saluran bawah tanah dengan cara peletakan langsung, pada sistem ini kabel tanah diletakkan langsung didalam tanah dan dilapisi dengan pasir serta batu bata sebagai pelindung terhadap tekanan mekanis dari atas.
2. Penanaman kabel dilakukan berdasarkan kemampuan hantar dari penghantar yang direncanakan untuk memenuhi daya beban 10,377 KW pada trafo 1 dan 81,466 KW pada trafo 2.

6. DAFTAR PUSTAKA

J Napitupulu, Y Ginting, ML Gaol, Keandalan Peralatan Pengaman Jaringan Distribusi Pada Pt Pln Rayon Medan Timurn Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro 8 (2), 62-72, 2019.

Abdul Kadir, Prof. Ir., *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Pustaka LP3ES, Jakarta, 1993.

AS Pabla dan Abdul Hadi Ir., *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1986.

Daryanto Drs., *Pengetahuan Teknik Tenaga Listrik*, Bina Aksara, Jakarta 1987

F. Suryatmo, *Teknik Listrik Instalasi Penerangan*, Rineke Cipta, Jakarta, 1993

Hutauruk, TS, Ir., *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1993

P. Van Harten dan E. Setiawam, Ir., *Instalasi Listrik Arus Kuat 1, 2 dan 3*, Groningen, Nederland, 1974.