

RANCANGAN JARINGAN SALURAN PENALURAN POWER HOUSE PLTM KE TITIK INTERKONEKSI DENGAN JALA-JALA DI SISTEM KELISTRIKAN DISTRIBUSI 20 KV JAWA TENGAH

Muhammad Fauzan Suryawijaya^{*)}, Mochammad Facta dan Enda Wista Sinuraya

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: fauzansuryawijaya1999@gmail.com

Abstrak

Perencanaan PLTM Kambangan memiliki panjang 7,2 km dengan saluran penyaluran baru, namun tetap menggunakan titik acuan saluran eksisting yaitu titik B, C, D, E dan titik *Power House* PH. Perencanaan saluran baru ini berfokus pada desain konstruksi saluran penyaluran tenaga listrik dari PLTM hingga titik interkoneksi. Selanjutnya dilakukan kalkulasi jatuh tegangan dan thermal pada saluran dengan melakukan perbandingan antara perhitungan dan penggunaan *software* ETAP 16.0. Dalam studi desain konstruksi memilih penggunaan konduktor AAAC 70 mm² dan penggunaan aksesorisnya. Dari analisis kalkulasi jatuh tegangan didapatkan dari hasil perhitungan titik PH ke E sebesar 0,28%, titik E ke D sebesar 0,408%, titik D ke C sebesar 1,62% dan titik C ke B sebesar 0,25% dalam kondisi Waktu Beban Puncak yang mengalami perbedaan dengan *software* ETAP yaitu secara berurutan sebesar 1,9%, 1,3%, 0,96%, dan 1,14%. Peralatan proteksi pada jaringan menggunakan LBS sebagai manuver jaringan dan *Recloser* untuk proteksi saat adanya gangguan dan juga koordinasi proteksi dengan saluran grid PLN.

Kata kunci: PLTM, Desain Konstruksi Saluran, Jatuh Tegangan dan kalkulasi thermal, Proteksi

Abstract

The planning of the Kambangan PLTM has a length of 7.2 km with a new distribution channel, but still uses the reference point of the existing channel, namely points B, C, D, E and Power House PH points. The planning of this new line focuses on the design of the construction of the electric power distribution line from the PLTM to the point of connection. The calculation of the voltage drop and thermal on the line is carried out by making a comparison between the calculation and the use of ETAP 16.0 software. In the construction design study chose the use of 70 mm² AAAC conductors and the use of accessories. From the analysis of the calculation of the voltage drop, it is obtained from the point PH to E is 0.28%, point E to D is 0.408%, point D to C is 1.62% and point C to B is 0.25% in Peak Load Time conditions. These experienced differences with the ETAP software were 1.9%, 1.3%, 0.96%, and 1.14% respectively. Protection equipment on the network uses LBS as a network maneuver and recloser for protection in the event of a disturbance and also coordination of protection with PLN grid lines.

Keywords: MHP, Power Line Construction Design, Voltage Drop and Thermal calculation, Protection

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga MiniHidro (PLTM) merupakan salah satu alternatif pembangkitan untuk memberikan tambahan pasokan listrik di Indonesia [1]

Saat ini Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian ESDM menyusun Rencana Umum Energi Nasional dengan menargetkan bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) mencapai 23% pada tahun 2025 [2]. Sementara itu menurut data PLN pada Oktober 2019 penggunaan EBT baru mencapai 12,1%. Indonesia sebagai negara kepulauan dan memiliki banyak pegunungan memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar

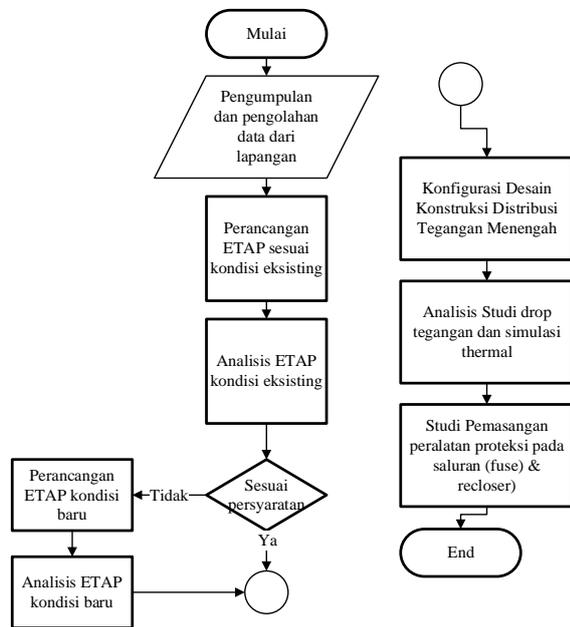
yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Contohnya yaitu energi air yang dapat digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro atau PLTM. Pembangkit listrik ini merupakan skala kecil dari PLTA yang sudah digunakan oleh pemerintah Indonesia di Dengan prinsip yang hampir sama dengan PLTA. PLTM ini sangatlah cocok untuk dibangun di daerah pelosok yang sulit untuk dialiri listrik dari jaringan besar yang sudah ada. Di daerah Jawa Tengah khususnya di daerah Kambangan, Kabupaten Batang, memiliki potensi yang sangat besar untuk pembangunan PLTM karena adanya sungai Kambangan yang memiliki debit yang sudah melebihi batas untuk dibangunnya sebuah PLTM. Maka dari itu direncanakan bahwa di sungai Kambangan akan dibangun sebuah PLTM dengan kapasitas 2x1750 KW yang nantinya

akan disambungkan dengan jaringan eksisting PLN 20 kV. Masalah yang ada dari rencana penyambungan PLTM ini dengan grid yaitu adanya berbagai potensi gangguan yang dapat terjadi, maka dari itu harus diadakan studi kelayakan [3] agar apabila hal tersebut dapat di realisasikan, PLTM Kambangan ini dapat menjadi PLTM yang memiliki keandalan tinggi dan sesuai dengan standard yang ada dari PLN dan dapat memasok tenaga listrik yang stabil untuk konsumen.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perancangan PLTM ini termasuk performa dari PLTM tersebut apabila sudah disambungkan dengan jaringan eksisting PLN 20 kV yang dilakukan dengan menggunakan software ETAP [4] dengan melihat potensi gangguan yang dapat terjadi dan juga melakukan analisis aliran daya maupun hubungan singkat beban lebih, tegangan lebih, kekurangan daya dan ketidakstabilan sistem [5] pada jaringan. Konstruksi dari jaringan penyambungan ini juga diperhatikan dari titik pembangkitan di sungai Kambangan hingga titik interkoneksi dengan jaringan eksisting PLN 20 kV, dari sisi proteksi di recloser dan fuse maupun konstruksi tiang harus sesuai dengan standard yang sudah ditetapkan oleh PLN.

2. Metode Penelitian

2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Jaringan Tegangan Menengah

Pada pendistribusian tenaga listrik ke pengguna tenaga listrik di suatu kawasan, penggunaan sistem Tegangan Menengah sebagai jaringan utama adalah upaya utama menghindarkan rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh

PT PLN Persero selaku pemegang Kuasa Usaha Utama [6].

Dengan ditetapkannya standar Tegangan Menengah sebagai tegangan operasi yang digunakan di Indonesia adalah 20 kV, konstruksi JTM wajib memenuhi kriteria enjineriing keamanan ketenagalistrikan, termasuk didalamnya adalah jarak aman minimal antara Fase dengan lingkungan dan antara Fase dengan tanah, bila jaringan tersebut menggunakan Saluran Udara atau ketahanan Isolasi jika menggunakan Kabel Udara Pilin Tegangan Menengah atau Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah serta kemudahan dalam hal pengoperasian atau pemeliharaan Jaringan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan utama. Hal ini dimaksudkan sebagai usaha menjaga keandalan kontinuitas pelayanan konsumen.[7]

2.2. Saluran Udara Tegangan Menengah

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait [8].

2.3.1. Konstruksi Tiang

Tabel 1. Spesifikas tiang beton bulat untuk SUTM

Panjang (m)	Tinggi Titik Tumpu/ (m)	Diameter (cm)	Beban Kerja (daN)
9	1,5	15,7	100
		15,7	200
		19	350
		19	500
		22	800
11	1,9	22	1200
		19	200
		19	350
		19	500
		22	800
12	2	22	1200
		19	200
		19	350
		19	500
		22	800
13	2,2	22	1200
		19	200
		19	350
		19	500
		22	800
14	2,4	22	1200
		19	200
		19	350
		19	500
		22	800

Spesifikasi tiang kayu yang dapat digunakan pada jaringan distribusi [9]. Spesifikasi Tiang besi yang dapat dipergunakan pada SUTM [10]. Sedang untuk tiang beton, tipe tubular [11], spesifikasi konstruksi tiang beton penampang bulat.

2.3.2. Jenis Isolator

Isolator tumpu dan isolator tarik yang digunakan dapat dengan material dasar keramik atau gelas ataupun polimer. Dimensi dan kekuatan jenis-jenis isolator tumpu dan tarik dapat dilihat pada gambar konstruksi



Gambar 2. Jenis isolator tumpu dan isolator tarik

2.3.3. Peralatan Proteksi Jaringan SUTM

Pada jaringan SUTM juga memiliki peralatan proteksi yang berguna sebagai pengaman apabila terjadi gangguan.

- Pemisah dengan pengaman lebur (*Fused Cut-Out*)
- Pemutus Balik Otomatis (*Automatic Recloser*)
- Penghantar tanah (*Shield Wire*)

2.3.4. Ruang Bebas dan Jarak Aman SUTM

Jarak aman adalah jarak antara bagian aktif / fasa dari jaringan terhadap benda-benda disekelilingnya baik secara mekanis atau elektromagnetis yang tidak memberikan pengaruh membahayakan.

Tabel 2. Ruang bebas dan jarak aman SUTM

No	Uraian	Jarak Aman
1	Terhadap Permukaan Jalan	> 6 meter
2	Balkon Rumah	>2,5 meter
3	Atap Rumah	>2 meter
4	Dinding Bangunan	>2,5 meter
5	Antena TV/Radio Menara	>2,5 meter
6	Pohon	>2,5 meter
7	Lintasan Kereta Api	> 2 meter dari atap kereta
8	Underbuilt TM--TM	1 meter
9	Underbuilt TM--TR	1 meter

2.3. Drop Tegangan

Berdasarkan SPLN tahun 1995 disebutkan bahwa batas tegangan yaitu +5% dan -10%. Peraturan ini jelas menyatakan nilai batas dari sebuah saluran penyaluran yang menyatakan tidak boleh melebihi 5% dari nominal

penyaluran dan kurang dari 10% nominal penyaluran. jatuh tegangan bisa didapatkan dengan menggunakan rumus [12]

$$\Delta v = \frac{\sqrt{3} \times L \times I \times \cos\theta}{q \times \lambda} \quad (\text{Volt}) \quad (1)$$

Δv = Jatuh tegangan (volt)

L = Panjang Saluran (meter sirkuit)

I = Arus Beban (A)

q = Penampang Saluran (mm²)

λ = Konduktivitas Beban Penghantar (Cu = 56; Aluminium = 32,7)

2.4. Kalkulasi Thermal

Thermal Overload atau kelebihan beban *thermal* pada saluran penyaluran dapat dilihat berupa kelebihan kapasitas saluran penyaluran dalam menghantarkan daya listrik, Kalkulasi thermal dihitung guna mengukur kemampuan konduktor untuk mengalirkan tenaga listrik hingga ke konsumen.[13]

2.5.1. Thermal arus terus-menerus

Nilai batas arus yang mengalir pada saat penyaluran dapat dilihat dari tabel 3, data kuat hantar arus pada saluran penyaluran. [14].

Tabel 3. Kuat hantar arus spln 64 : 1985 tabel VIII

Luas Penampang (mm ²)	KHA terus menerus AAAC (A)
16	105
25	135
35	170
50	210
70	255
95	320
120	365

2.5.2. Thermal Arus Pada Maksimal 1 Detik

Untuk nilai maksimal arus hubung singkat selama 1 detik pada saat terjadi gangguan untuk penghantar dengan luas 70 mm².

Tabel 4. KHA arus hubung singkat selama 1 detik

Σ Penghantar	Luas Penampang	Cu/Al	Batas Arus Hubung Singkat 1 Detik (kA)
3	70	Cu	10,01
		Al	6,58

2.5. Konstruksi SUTM PLTM Kambangan

Konstruksi Saluran Udara Tegangan menengah pada PLTM Kambangan merujuk kepada pedoman standar konstruksi PT.PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta [15]. Yang terdiri dari konstruksi

dengan kode C seperti contoh CC1-A, CC2-A, CC8-AN, CC8, CC7 dan seterusnya.

2.6.1. Gambar Titik Tiang dari PH hingga Interkoneksi



Gambar 3. Titik tiang PH ke E



Gambar 4. Titik tiang E ke D



Gambar 5. Titik tiang D ke C



Gambar 6. Titik tiang D ke C

3. Hasil dan Analisis

3.1. Analisis Hasil Drop Tegangan

Jatuh tegangan pada SUTM PLTM Kambangan dicari dengan menggunakan rumus pada persamaan 1. Dengan mengambil contoh satu persamaan dari titik PH ke E :

$$\Delta v = \frac{\sqrt{3} \times 800 \times 100,5 \times 0,93}{70 \times 32,7} = 56,578 \text{ Volt atau } 0,28\%$$

Nilai seluruh jatuh tegangan dapat dilihat di tabel 5 :

Tabel 5. Tabel drop tegangan kondisi WBP dan LWBP (perhitungan)

Drop Tegangan	Waktu Beban Puncak		Luar Waktu Beban Puncak	
	Volt	%	Volt	%
PH KE E (V)	56,578	0,28	33,582	0,16
E KE D (V)	77,949	0,38	43,119	0,21
D KE C (V)	308,83	1,54	169,333	0,84
C KE B (V)	51,63	0,25	25,004	0,12
PH KE B (V)	994,112	4,97	481,435	2,407

Didapatkan dari Tabel diatas bahwa nilai jatuh tegangan masih berada di bawah batas regulasi yaitu +5% dan -10%

3.2. Analisis Hasil Kalkulasi Thermal

3.2.1. Kondisi Thermal Pada Saat Hubung Singkat

Dari kalkulasi *thermal* didapatkan hasil sesuai dengan tabel 6.

Tabel 6. Tabel kA saat hubung singkat

Fault / Gangguan	Titik D (kA)	Titik E (kA)	Batas Arus Hubung Singkat Selama 1 Detik (kA)
3 Fasa	1,934	1,842	6,58

Nilai saat terjadi gangguan hubung singkat masih berada di bawah batas arus hubung singkat selama 1 detik sehingga masih dinyatakan layak.

3.2.2. Kondisi Thermal Pada Kondisi Terus Menerus

- Titik B-C : 194,1 A
- Titik C-D : 90,3 A
- Titik D-E : 90,3 A
- Titik E-PH: 100,5 A

Sesuai dengan tabel 3, bahwa arus mengalir terus menerus maksimal adalah 255 A. Pada SUTM PLTM Kambangan didapatkan arus paling besar 194,1 A maka masih konduktor masih dinyatakan layak untuk digunakan.

3.3. Analisis Hasil Desain SUTM PLTM Kambangan

3.3.1. Penentuan Andongan

A. Tinggi Tiang Sama

Penentuan Andongan dengan tinggi tiang sama digunakan rumus

$$D = \frac{W.S^2}{8.T} \tag{2}$$

D = Andongan

W = Berat penghantar

T = Tegangan/regangan mendata dari penghantar

S = Jarak tiang/ gawang

Dengan mengambil contoh dari titik T6-T7 didapatkan nilai :

$$D = \frac{0,208 \cdot 50^2}{8 \cdot (101,92)} = 0,64 \text{ m}$$

B. Tinggi Tiang Beda

Penentuan andongan dengan tinggi tiang beda dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$D_o = D \left(1 - \frac{4}{4 \times D}\right)^2 \quad (3)$$

D_o = Andongan beda ketinggian

D = Andongan tinggi sama

Dengan mengambil contoh dari titik T20-T21 didapatkan nilai :

$$D_o = 0,51 \left(1 - \frac{4}{4 \times 0,51}\right)^2 = 0,47 \text{ m}$$

3.3.2. Jarak Antar Kawat dan Penentuan *Cross Arm*

A. Jarak Antar Kawat

Nilai jarak antar penghantar juga harus diperhatikan karena diantara penghantar ini harus diberi jarak aman agar tidak terjadi gangguan pada system.

$$D = 0,75\sqrt{s} + \frac{V^2}{20000} \quad (4)$$

D = jarak antara penghantar

s = Tinggi sag

V = Tegangan kerja

Dengan mengambil contoh dari titik T5-T6 didapatkan nilai :

$$D = 0,75\sqrt{0,64s} + \frac{20^2}{20000}$$

B. Panjang *Cross Arm*

Nilai panjang *cross arm* dicari guna menentukan penggunaan *cross arm* yang tepat di SUTM. Hal ini dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$L = 2 \times a + 2 \times 0,1 \text{ m} \quad (5)$$

L = panjang *cross arm*

A = jarak antar penghantar

Dengan mengambil contoh dari titik T5-T6 didapatkan nilai :

$$L = 2 \times 0,62 + 2 \times 0,1 \text{ m}$$

3.3.3. Penentuan Kekuatan Pada Tiang

A. Tiang Awal

Kekuatan pada Tiang Awal harus dihitung agar dapat digunakan jenis konstruksi yang tepat. Hal ini dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$F = \sqrt{(F_m)^2 + (F_a)^2} \text{ daN} \quad (6)$$

$$F = \sqrt{(m \cdot g \cdot s \cdot \frac{1}{2}S)^2 + (40 \cdot \frac{1}{2}S)^2} \text{ daN} \quad (7)$$

F_m = akibat massa penghantar x setengah panjang jarak gawang

F_a = akibat angin pada penghantar x setengah panjang jarak gawang

Dengan mengambil contoh dari titik T1 didapatkan nilai :

$$F = \sqrt{\left(0,208 \cdot 9,8 \cdot 50 \cdot \frac{1}{2}50\right)^2 + \left(40 \cdot \frac{1}{2}50\right)^2} \\ = 2737,21 \text{ daN}$$

B. Tiang Penumpu

Kekuatan pada tiang penumpu harus dihitung agar dapat digunakan jenis konstruksi yang tepat. Hal ini dapat dicari dengan menggunakan rumus [1]

$$F = F_a \times D \times a \text{ daN} \quad (8)$$

F = Gaya terima tiang penumpu

F_a = Akibat angin kepada tiang

D = Diameter kabel

Dengan mengambil contoh dari titik T8 didapatkan nilai :

$$F = 40 \times 0,001125 \times 50 = 2,25 \text{ daN}$$

C. Tiang Sudut

Kekuatan pada tiang penumpu harus dihitung agar dapat digunakan jenis konstruksi yang tepat. Hal ini dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$F = F_a \times D \times a \times \cos \frac{\alpha}{2} + 2T \sin \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$

F_a = Tekanan angin pada arah *bisection* [daN/m²]

T = Tegangan tarik maksimum penghantar pada tiang [daN]

d = Diameter penghantar [m]

a = panjang rata-rata aritmatik dari dua gawang yang membentuk sudut

α = sudut deviasi lintasan (derajat)

Dengan mengambil contoh dari titik T32 didapatkan nilai :

$$F = 40 \times 11,25 \times 10^{-4} \times 47,6 \times \cos \frac{60}{2} + \\ 2 \cdot 101,2 \sin \frac{60}{2} \\ F = 103,78 \text{ daN}$$

D. Tiang Dengan Konstruksi Khusus

Tiang dengan konstruksi khusus pada saluran SUTM PLTM Kambangan terdapat pada tiang T150, dan T151 karena pada tiang T150 terdapat PBO atau *reclouser* dan

pada T151 terdapat titik percabangan dengan saluran *on grid* PLN yang menggunakan LBS (*Load Break Switch*). Tiang ini menggunakan tiang dengan tinggi 14 m dan 350 daN sesuai dengan anjuran dari PLN Buku 1 tentang Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi semua bagian konduktif harus dibumikan

3.3.4. Penentuan Jenis Isolator Tiap Tiang

Isolator yang digunakan pada tiap tiang di SUTM PLTM Kambangan bergantung pada sudut tiang yang tertera pada tabel tiang diatas dan juga bergantung pada jenis konstruksi tiang yang digunakan. Contohnya pada jenis tiang penumpu dengan sudut 0° - 15° digunakan isolator dengan jenis isolator tumpu. Pada tiang sudut diatas 30° digunakan isolator berjenis tarik-regang.

Pada konstruksi tiang awal digunakan isolator tarik-regang. Pada tiang Percabangan dan tiang dengan konstruksi khusus digunakan isolator jenis tarik-regang.

3.3.5. Penentuan Konstruksi Tiang dan Aksesoris Penunjang

Konstruksi tiang yang digunakan pada SUTM PLTM Kambangan menggunakan Pedoman Standar Konstruksi 2008 PT.PLN (PERSERO) Distribusi Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta. Ada banyak jenis konstruksi pada pedoman, namun dalam makalah ini hanya digunakan beberapa yaitu konstruksi CC1-A, CC2-A, CC8, CC8-AN, CC7A, CM2-12A, CM2-11, CM2-12, CM5-9, CM3-16, CM3-20, E1-2, F1-2. [3]

A. CC1-A

Konstruksi CC1-A adalah konstruksi untuk system 3 fasa dan keadaanya lurus atau membelok kurang dari 15° , digunakan pada tempat yang lurus dan isolator berfungsi sebagai penyangga konduktor.

B. CC2-A

Konstruksi CC2-A digunakan untuk keadaan saluran yang lurus atau membelok dengan sudut 30° dengan *double cross arm* dan 3 buah *line post*.

C. CC8-AN

Konstruksi CC8-AN digunakan pada tempat ujung akhir dari saluran udara tegangan menengah menggunakan *double cross arm* dan digunakan pada sudut 60° - 90° derajat.

D. CC8 Untuk 3 Fasa Dengan *Double Dead End*

Konstruksi CC8 digunakan pada tempat yang membelok dengan sudut 30° - 60° menggunakan *double cross arm*.

E. Konstruksi CC7 Untuk 3 Fasa *Tee Off*

Konstruksi ini digunakan pada jaringan percabangan dan tiang awal. Konstruksi ini merupakan gabungan antara konstruksi CC1 dan CC8-AN dan digunakan untuk saluran sebesar 30° - 90°

F. Konstruksi CM2-12 dan CM2-12A

Konstruksi CM-12 dan Konstruksi CM2-12A adalah konstruksi yang digunakan sebagai pentanahan atau *ground rod type*. Konstruksi CM2-12 digunakan pada semua tiang SUTM Kambangan sedangkan CM2-12A hanya digunakan pada tiang yang menggunakan *guy wire*.

G. Konstruksi CM2-11

Konstruksi CM2-11 termasuk konstruksi *grounding* pada SUTM PLMTH Kambangan yang terletak pada tiang awal, tiang akhir dan tiang percabangan.

H. Konstruksi E1-2 dan F1-2

Konstruksi E1-2 dan F1-2 merupakan konstruksi yang digunakan pada tiang saluran yang menggunakan *guy wire* pada perancangannya. Yang digunakan sebagai penopang tiang pada saat tiang memiliki sudut.

I. Konstruksi M3-20

Konstruksi M3-20 adalah tiang saluran tegangan menengah 3 fasa yang menggunakan *recloser* dan memakai konstruksi satu tiang dengan menggunakan 3 PMS (*Disconnecting Switch*).

J. Konstruksi CM3-16

Konstruksi CM3-16 merupakan konstruksi tiang saluran udara tegangan menengah yang pada konstruksinya ditempatkan LBS (*Load Break Switch*) sebagai tempat manuver percabangan saluran

K. Konstruksi M5-9

Konstruksi ini merupakan konstruksi pelengkap pada tiang saluran udara tegangan menengah yang berupa proteksi *Fuse Cut Out* yang menggunakan system lebur pada prinsip kerjanya yang digunakan pada tiang percabangan di SUTM Kambangan.

3.3.6. Konstruksi Tiap Tiang

1. Tiang Awal 2. Tiang Sudut 10°-30°

Tabel 7. Konstruksi tiang awal dan tiang sudut 10°-30°

T1	T11
1 CC14-350E	1 CC12-200E
1 CC-7A	1 CC2-A
1 CM2-11	1 CM2-12
1 CM2-12	1 F1-2
1 CM2-12A	1 E1-2
1 F1-2	CM2-12A
1 E1-2	

3. Tiang Percabangan 4. Tiang Lurus

Tabel 8. Konstruksi tiang percabangan dan tiang lurus

T45	T2
1 CC14-350E	1 CC12-200E
1 CC-7A	1 CC1-A
1 CM2-11	1 CM2-12
1 CM2-12	
1 CM2-12A	
1 F1-2	
1 E1-2	
3 CM5-9	

5. Tiang Recloser 6. Tiang Dengan LBS

Tabel 9. Konstruksi tiang recloser dan tiang LBS

T149	T150
1 CC14-350E	1 CC14-350E
1 CC8	1 CC8
1 CM2-12	1 CM2-11
1 CM3-20	1 CM2-12
1 CM2-11	1 CM2-12A
	1 F1-2
	1 E1-2
	1 CM 3-16G

7. Tiang Sudut 30°-60° 8. Tiang Sudut 60°-90°

Tabel 10. Konstruksi tiang sudut 30°-60° dan tiang sudut 60°-90°

T10	T48
1 CC12-200E	1 CC12-200E
1 CC8	1 CC8-AN
1 CM2-12	1 CM2-12
1 E1-2	1 CM2-12A
1 F1-2	1 F1-2
1 CM2-12A	1 E1-2

4. Kesimpulan

Pembangunan PLTM Kambangan dinyatakan layak karena dapat membantu penyaluran grid PLN eksisting dengan menambahkan daya ke jaringan sebesar 3,6 MVA namun ada penyaluran ke beban sehingga daya yang tersalur dari titik interkoneksi sebesar 3,1 MVA. Aspek lain yaitu adanya potensi gangguan pada PLTM Kambangan antara lain adanya hubung singkat, dengan penggunaan

konduktor AAAC 70 mm² 3 fasa dapat didapatkan besar gangguan maksimal pada SUTM adalah 1,9 kA. Hal ini masih berada di bawah batas aman yaitu 6,58 kA. Karena adanya potensi gangguan maka peralatan proteksi yang digunakan pada SUTM PLTM Kambangan antara lain adalah *recloser* yang ditempatkan di T149 dan LBS untuk manuver dengan jala-jala PLN pada T150. Selain itu penggunaan *fuse cut out* ditempatkan pada T18, T45, 151. Dari penempatan tersebut, konstruksi tiang yang digunakan adalah tiang beton dengan panjang 12 m 200 daN dan 14 m 350 daN dengan rata-rata jarak antar gawang 50 m menggunakan konstruksi CC1-A, CC2-A, CC8, CC8-AN, CC7A, CM2-12A, CM2-11, CM2-12, CM5-9, CM3-16, CM3-20, E1-2, F1-2. Dari hasil analisis Jatuh tegangan yang terjadi pada SUTM PLTM Kambangan paling besar terjadi bernilai 1,54% dan arus mengalir paling besar sebesar 194,1 A.

Referensi

- [1] Restia Kurniawati, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Kerambil 2 x 1500 kW di Sungai Batang Bayang, Desa Muara Air, Kec. Bayang Utara, Kab. Pesisir Selatan," Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, 2017.
- [2] Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional.
- [3] PT.PLN (Persero), Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke sistem distribusi PLN, Keputusan Direksi PLN, (2019).
- [4] K. Indrawan, "Analisa Aliran Daya Sistem Kelistrikan Pada PT. PLN (PERSERO) Unit Pembantu Sektor Medan Titi Kuning Menggunakan Software ETAP", Tugas Akhir, Studi, T. Elektro, F. T, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2018.
- [5] John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr., "Power System Analysis", McGraw- Hill Inc, 1994.
- [6] Undang-Undang No.30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan (2009).
- [7] Buku 5 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik, PT PLN (Persero), 2010.
- [8] SPLN 72. 1987. Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara
- [9] SPLN 115 : 1995 Tentang Tiang Kayu Untuk Jaringan Distribusi
- [10] SPLN 54 : 1983 Tentang Standar Tiang Besi Baja Untuk Jaringan Distribusi
- [11] SPLN 93: 1991 tentang Tiang Beton Pratekan untuk jaringan distribusi,
- [12] Buku 1 Kriteria Desain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, PT PLN (Persero), 2010.
- [13] PT PLN (Persero). 1985. *SPLN Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta: PT. PLN (Persero).[2]
- [14] SPLN 64 : 1985 Tentang Petunjuk Pemilihan Dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi TM
- [15] Buku Pedoman Standar Konstruksi Jaringan Distribusi Tahun 2008, PT PLN (Persero) DISTRIBUSI JAWA TENGAH DAN D.I YOGYAKARTA, 2008.