

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan tegangan 220 VAC, daya 1 kW di desa Jembul, kecamatan Jatirejo, kabupaten Mojokerto

Romario Louviano Lesmana, Daniel Rohi, Hanny Hosiana Tumbelaka
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Jl.Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

E-Mail: romario.business999@gmail.com ; rohi@peter.petra.ac.id ; tumbuh@peter.petra.ac.id

Abstrak—Desa Jembul memiliki sungai yang mengalir sepanjang tahun, sehingga sungai tersebut berpotensi dimanfaatkan untuk pembangunan PLTMH

PLTMH ini dirancang dengan tegangan 220 VAC, dan daya 1 kW untuk menyuplai kebutuhan energi listrik berupa penerangan jalan. Faktor – faktor yang diperlukan untuk pembangunan PLTMH ini adalah *head* dan debit air. Besar *head* didapatkan dari pengukuran menggunakan *tape measure*, besar debit air didapatkan dengan menggunakan metode *cross section*.

Dengan rancangan *head* sebesar 3 m dan debit air sebesar 0,0607 m³/s, PLTMH ini menghasilkan *output* daya sebesar 1 kW. Kapasitas PLTMH sebesar 1 kW cukup untuk menyuplai kebutuhan listrik penerangan jalan sebesar 945 Watt.

Kata Kunci—Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Debit air, *Head*.

I. PENDAHULUAN

Pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik telah memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Pembakaran bahan bakar fosil tersebut menyebabkan pemanasan global, dimana suhu bumi terus meningkat setiap tahun. Salah satu cara untuk menanggulangi pemanasan global tersebut adalah dengan menggunakan energi terbarukan (*renewable energy*) untuk membangkitkan energi listrik [1].

Indonesia memiliki Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar, diantaranya, mini/mikro hidro sebesar 450 MW, biomassa 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m²/hari, energi angin 3 - 6 m/detik, dan energi nuklir 3 GW [2].

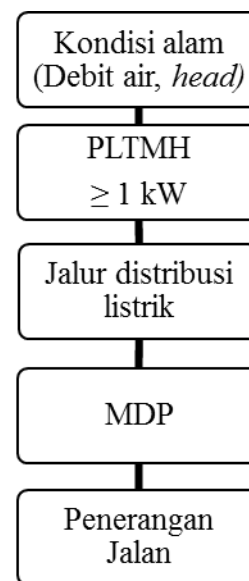
Desa Jembul yang berada di kabupaten Mojokerto memiliki 270 kepala keluarga dan sudah mendapat jaringan listrik dari PLN, dengan kapasitas daya terpasang pada masing - masing rumah sebesar 450 VA. Tetapi, desa Jembul tidak mempunyai penerangan jalan, sehingga masyarakat hanya mengandalkan penerangan pada rumah - rumah di pinggir jalan. Oleh karena itu, berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 3 tahun 2005 pasal 2 ayat 4 tentang penyediaan dan pemanfaatan tenaga listrik, diharapkan bahwa kebutuhan energi listrik untuk penerangan jalan di desa Jembul dapat disuplai dengan memanfaatkan sumber energi setempat yang ada di desa Jembul.

Desa Jembul memiliki objek wisata air terjun yang bernama Air Terjun Kabejan, dimana terdapat sungai - sungai di sekitar rumah penduduk yang mengalir sepanjang tahun, sehingga berpotensi untuk pembangunan Pembangkit Listrik

Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagai penyuplai energi listrik untuk penerangan jalan.

II. PERANCANGAN SISTEM

Pada bagian ini akan dijelaskan detail rancangan sistem secara keseluruhan. Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

PLTMH dibangun berdasarkan kondisi alam yang mendukung / berpotensi dilihat melalui debit air dan head dari alam tersebut. Setelah itu dilakukan perancangan bangunan sipil untuk perencanaan kapasitas PLTMH dengan nilai 1 kW.

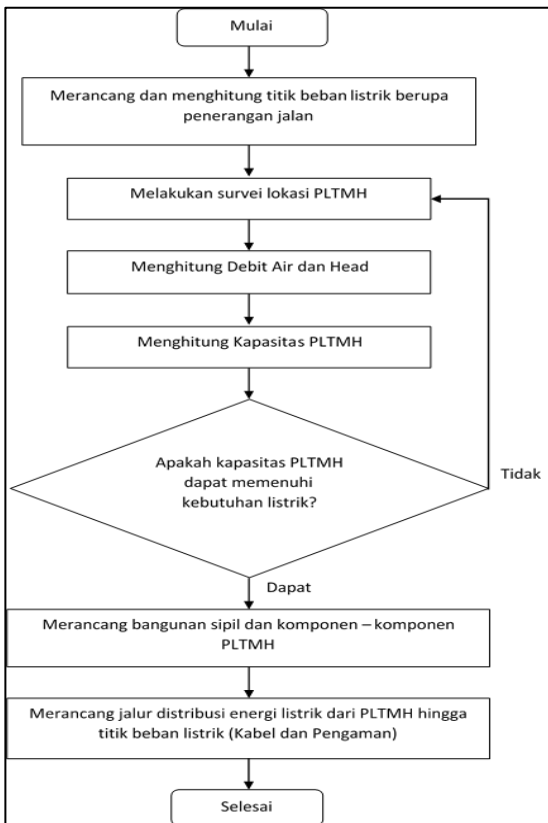
Energi mekanik yang dihasilkan turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh generator sinkron dengan tegangan 220 VAC , kemudian diteruskan ke jalur distribusi listrik berupa kabel listrik, lalu menuju Main Distribution Panel (MDP), lalu menuju titik - titik beban listrik..

Untuk detail perencanaan PLTMH akan selalu mengacu pada Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan PLTMH.

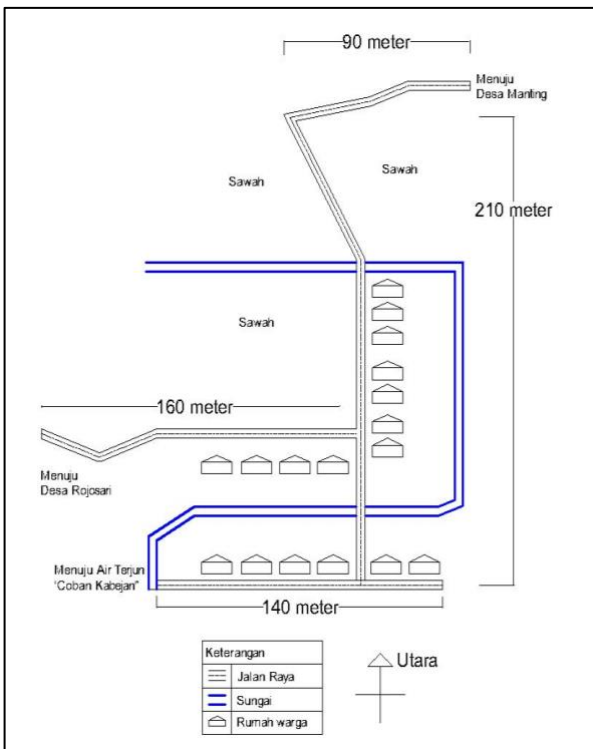
A. Survei Denah Desa Jembul

Berdasarkan pengamatan penulis, serta hasil wawancara kepada kepala rukun tani di desa Jembul bernama pak Samsul, penulis mendapatkan data lokasi desa sebagai berikut:

- a. Sebelah utara : Desa Manting
- b. Sebelah timur : Desa Blentereng
- c. Sebelah selatan : Air Terjun “Coban Kabejan”
- d. Sebelah barat : Desa Rojosari



Gambar 2. Diagram Alir Perencanaan PLTMH



Gambar 3. Denah Desa Jembul

Total panjang jalan aspal di desa Jembul adalah sepanjang 650 meter dengan lebar jalan 4,6 meter. Jalan desa Jembul ini

biasanya dilalui oleh pejalan kaki, mobil, sepeda, sepeda motor, dan truk untuk kepentingan kegiatan perekonomian, kegiatan wisata air terjun, dan lain – lain.

Berdasarkan Undang – Undang RI no. 38 Tahun 2004, maka jalan sepanjang 650 meter di desa Jembul dapat dikategorikan sebagai jalan lokal. Lebar jalan lokal tersebut sebesar 4,6 m dengan lebar jalur sebesar 3,5 m

B. Rancangan Penerangan Jalan

Perancangan komponen – komponen penerangan jalan dilakukan berdasarkan SNI 7391: 2008 tentang kualitas pencahayaan [3].

Pemilihan komponen – komponen penerangan jalan adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan Lampu
Lampu yang dipilih adalah lampu penerangan jalan CGP430 CDM-T35W dengan tegangan 220/230 VAC, daya 35 Watt, dan *output* 2.475 lumen.
2. Tiang Lampu
Berdasarkan pertimbangan pemilihan material yang kuat terhadap segala kondisi alam (banjir, hujan, angin kencang, dan lain – lain), material tiang lampu yang dipilih adalah besi inti lubang dengan dilapisi cat, karena cat dapat melindungi besi dari karat dan korosi akibat air.

Tabel 1. Standar Kualitas Pencahayaan [4]

Jenis/ Klasifikasi jalan	Kuat pencahayaan (Iuminansi)		Luminansi			Batas silau	
	E rata- rata (lux)	Kemerataan (Uniformity) g1	L rata-rata (cd/m2)	Kemerataan (uniformity)		G	TJ (%)
				VD	VI		
Trottoar	1 - 4	0,10	0,10	0,40	0,50	4	20
Jalan lokal :							
- Primer	2 - 5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
- Sekunder	2 - 5	0,10	0,50	0,40	0,50	4	20
Jalan kolektor :							
- Primer	3 - 7	0,14	1,00	0,40	0,50	4 - 5	20
- Sekunder	3 - 7	0,14	1,00	0,40	0,50	4 - 5	20
Jalan arteri :							
- Primer	11 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5 - 6	10 - 20
- Sekunder	11 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5 - 6	10 - 20
Jalan arteri dengan akses kontrol, jalan bebas hambatan	15 - 20	0,14 - 0,20	1,50	0,40	0,50 - 0,70	5 - 6	10 - 20
Jalan layang, simpang susun, terowongan	20 - 25	0,20	2,00	0,40	0,70	6	10

Keterangan :
 g1 : E min/E maks
 VD : L min/L maks
 VI : L min/L rata-rata
 G : Silau (glare)
 TJ : Batas ambang kesilauan

Berdasarkan tabel 1., maka nilai E rata – rata rancangan penerangan jalan untuk jalan lokal harus bernilai antara 2 -5 lux, dan nilai g1 adalah 0,1 [3].

Penempatan penerangan jalan berdasarkan SNI 7391: 2008 adalah dengan menggunakan sistem menerus dan parsial [3].

Setelah didapati data dimensi jalan lokal dan data desain komponen penerangan jalan, maka dilakukan simulasi rancangan penerangan jalan menggunakan software ”Dialux 4.13” sebagai berikut :

- Pengaturan *roadway*
Pengaturan *roadway* pada software ”Dialux 4.13” adalah :

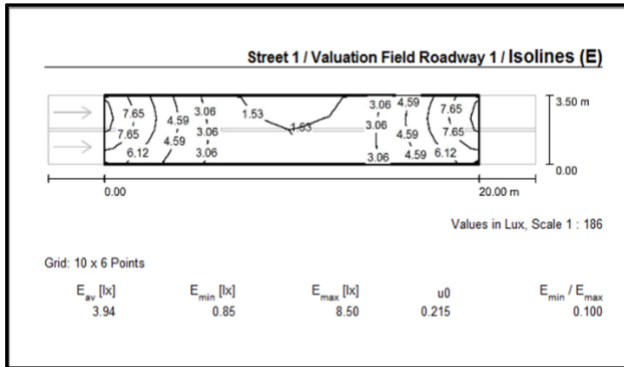
- a. Lebar : 3,5 m
- b. Panjang : 20 m (sample dari panjang jalan)
- Pengaturan *Street Arrangement*
Street Arrangement adalah pengaturan posisi lampu yang akan digunakan pada software “Dialux 4.13”.

Langkah pertama dalam pengaturan *street arrangement* adalah dengan menentukan sistem peletakan lampu pada *tab Arrangement*. Sistem peletakan lampu yang dipilih adalah single row, top (penempatan lampu dengan sistem menerus dan parsial, pada satu sisi jalan)

Langkah kedua dalam pengaturan *street arrangement* adalah dengan menentukan tinggi lampu, dan jarak antar lampu pada *tab Pole Arrangement*. Tinggi tiang lampu yang dipilih adalah 5 meter, dengan jarak tiap lampu adalah 20 meter

Langkah ketiga dalam pengaturan *street arrangement* adalah dengan menentukan dimensi tiang lampu pada *tab Boom*. Dipilih sudut lampu adalah 46°, dan jarak antara lampu dengan badan jalan adalah 44 cm.

- *Calculation*



Gambar 4. Hasil perhitungan software Dialux 4.13

Berdasarkan hasil perhitungan software “Dialux 4.13”, didapatkan data nilai E rata – rata sebesar 3,94 lux, dan nilai g_1 (E_{min} / E_{max}) sebesar 0,1.

C. Perencanaan PLTMH

Berdasarkan Gambar 2, langkah kedua dalam merencanakan PLTMH adalah melakukan survei lokasi PLTMH. Pertimbangan dalam menentukan posisi komponen – komponen PLTMH adalah sebagai berikut :

1. Letak Powerhouse di dalam desa.
2. Jarak antara Intake dengan desa tidak lebih dari 1 km.
3. Kondisi lingkungan yang tidak mudah terkena longsor.
4. Tempat yang mudah dijangkau manusia

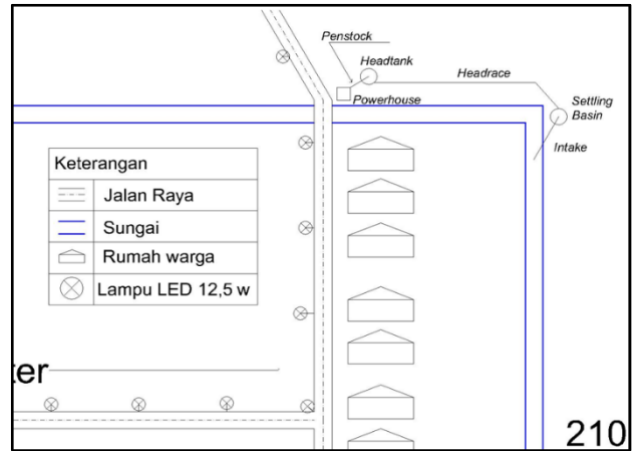
Setelah dilakukan survei terhadap lokasi PLTMH, ditentukan posisi komponen – komponen PLTMH (*powerhouse*, *headrace*, *settling basin*, *headtank*, dan *penstock*) berada di dalam desa, dengan kondisi lingkungan yang tidak mudah longsor, mudah dijangkau manusia sesuai gambar 5.

Berdasarkan Gambar 2, langkah keempat dalam merencanakan PLTMH adalah menghitung kapasitas PLTMH.

Dengan menggunakan head berdasarkan rancangan sebesar 3 m, daya PLTMH sebesar 1 kW, asumsi efisiensi generator sebesar 0,7, dan efisiensi turbin sebesar 0,8, maka perhitungan debit air yang digunakan untuk menggerakkan turbin dapat dihitung menggunakan rumus 1.

$$P = 9,8 \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

- Dimana,
- η_T = efisiensi turbin
 - η_G = efisiensi generator
 - Q = Debit air (m^3/s)
 - H = Head.



Gambar 5. Posisi komponen – komponen PLTMH

Dengan rumus 1, maka didapatkan data debit air sebagai berikut :

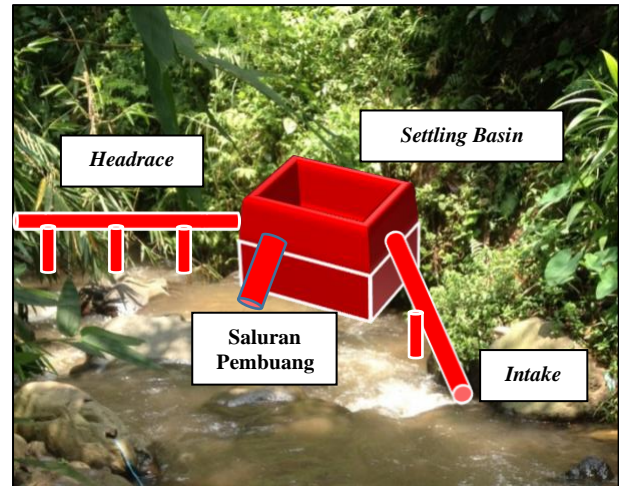
$$P = 9,8 \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot Q \cdot H$$

$$1 = 5,49 \cdot Q \cdot 3$$

$$Q = \frac{1}{16,47}$$

$$Q = 0,0607 \text{ m}^3/\text{s}$$

Langkah selanjutnya adalah merencanakan bangunan sipil PLTMH.



Gambar 6. Posisi komponen – komponen PLTMH bagian 1

Komponen *intake* terbuat dari pipa PVC, dengan diameter 36 cm. Komponen *settling basin* terbuat dari semen berbentuk persegi dengan volume 1 m^3 dilengkapi dengan saluran pembuang. Komponen *headrace* terbuat dari pipa PVC dengan panjang ± 40 m. Terdapat penyangga di beberapa bagian pipa, dan terdapat sambungan pada setiap siku yang berguna untuk meminimalisir gaya yang timbul akibat tekanan air. Diameter *headrace* adalah 36 cm.

Headtank terdiri dari bata dan semen, berbentuk persegi, dilengkapi pintu air, saluran pembuang dan saringan. Volume dari *headtank* adalah 1,75 m^3

Penstock terbuat dari pipa PCC dilengkapi dengan penyangga yang berguna untuk mengurangi tekanan yang ditimbulkan oleh air. Perancangan kecepatan air dalam penstock dapat dihitung dengan rumus 2.

$$V = \varphi \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

Dimana :

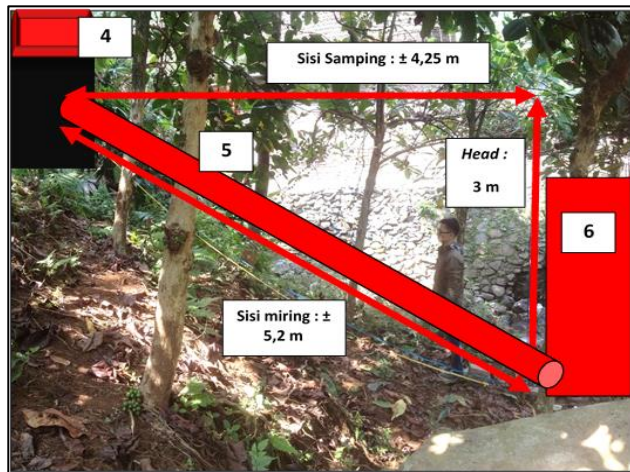
- V = Kecepatan air (m/s)
- g = Konstanta gravitasi (9,8)
- h = head (m)

Berdasarkan rumus 2, didapatkan perhitungan kecepatan air dalam pipa penstock sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V &= \varphi \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \\ &= 0,09 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 3} \\ &= 0,69 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Powerhouse ditentukan berada disebelah jembatan, di dalam powerhouse terdapat turbin, generator, dan MDP. Volume dari powerhouse ini adalah 18,75 m³.

Hasil rancangan dapat dilihat pada gambar 7, dimana poin 4 adalah head tank, poin 5 adalah penstock, dan poin 6 adalah powerhouse.



Gambar 7. Posisi komponen – komponen PLTMH bagian 2

Langkah selanjutnya adalah pemilihan turbin dan generator. Dengan menggunakan rumus 1, efisiensi generator diabaikan, sehingga didapatkan daya yang dihasilkan turbin sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= 9,8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \\ &= 9,8 \cdot 0,0607 \cdot 3 \cdot 0,8 \\ &= 1,43 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menentukan kecepatan spesifik dari turbin dapat menggunakan rumus 3.

$$N = \frac{NS \cdot H^{\frac{5}{4}}}{\frac{1}{P^2}} \quad (3)$$

Dimana :

- N = Kecepatan poros turbin (rpm)
- NS = Kecepatan spesifik turbin (rpm)
- H = Head (m)
- P = Daya output turbin (kW)

Maka kecepatan spesifik turbin adalah :

$$1.500 = \frac{NS \cdot 3^{\frac{5}{4}}}{\frac{1}{1,43^2}}$$

$$1.500 = 3,31 \text{ NS}$$

$$NS = \frac{1.500}{3,31}$$

$$NS = 454 \text{ rpm}$$

Sedangkan untuk menentukan pole generator, digunakan rumus 4.

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (4)$$

Dimana :

- n = kecepatan poros generator (rpm)
- f = frekuensi sistem (Hz)
- p = jumlah pole

Maka pole generator dihitung sebagai berikut :

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

$$1500 = \frac{60 \cdot 50}{p}$$

$$p = \frac{3.000}{1.500}$$

$$= 2$$

Maka dipilih spesifikasi turbin dan generator sesuai gambar 8.

Technical Parameters									
Generator Shell Material	Iron Casting								
Generator Stator Wire	Copper Wire								
Water turbine									
Rated Power (w)	300	500	600	1000	1500	2000	3000	5000	
Rated Head (m)	2-4	2-4	2-4	2-5	2.5-6	3-6	3-6	3-8	
Rated Flow (cbm/s)	0.025	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.1	0.18	
Runner Diameter(cm)	10	10-12	13	15	15	18	18	20	
Generator									
Type	Brushless/Permanent magnet								
Power Output (w)	300	500	600	1000	1500	2000	3000	5000	
Voltage(V)	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	
Current(A)	1.36	2.27	2.73	4.55	6.82	9.09	13.64	22.73	
Frequency(HZ)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	
Rotary Speed(RPM)	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500	1000-1500	
Phase	single	single	single	single	single	single	single	single	
N.W(KG/set)	12	14	20	23	30	47	70	130	
G.W(KG/set)	17	19	26	30	37	60	85	150	
Packing	Length(cm)	70	73	80	86	89	123	144	
	Width(cm)	27	27	25	26	27	33	33	48
	Height(cm)	27	27	25	26	27	33	33	48
Volume(m ³)	0.051	0.053	0.050	0.058	0.065	0.134	0.134	0.332	

Gambar 8. Spesifikasi turbin dan generator merk Seatrend

Langkah selanjutnya adalah merancang MDP dan SDP. MDP dipasang di dalam powerhouse karena alasan keamanan dan maintenance. MDP ini dikemas dalam suatu box dengan material logam. MDP ini dilengkapi dengan amperemeter (1 buah), voltmeter (1 buah), fuse (1 buah), current transformer (1 buah), indicator lamp (1 buah), MCB (4 buah), kabel NYY dari generator, kabel NYY menuju group G1 dan G2, kabel NYY menuju SDP A, dan grounding menggunakan kawat BC yang ditanam di dalam tanah. MDP ini melayani beban penerangan jalan group G1 dan G2.

Sub-Distribution Panel A dipasang pada tiang lampu sebelah selatan desa Jembul. Panel ini dikemas dalam suatu box dengan material logam. SDP A ini dilengkapi MCB (3 buah), kabel NYY dari MDP, dan kabel NYY menuju titik beban listrik. Panel SDP A ini melayani beban penerangan jalan group G3A, G4A dan G5A.

III. ANALISA DATA

Analisa ini dilakukan untuk membahas lebih rinci mengenai hasil rancangan yang telah dijabarkan pada bab II.

A. Analisa Lux

Berdasarkan hasil dari perhitungan software “Dialux 4.13”, lux rata – rata yang dihasilkan dari perancangan penerangan jalan adalah sebesar 3,94 lux. Dibandingkan dengan SNI 7391 : 2008 (BSN, p.8) tentang kualitas pencahayaan jenis jalan lokal, standar rata – rata lux adalah sebesar 2 – 5 lux., maka rancangan beban penerangan jalan sebesar 3,94 lux sudah sesuai dengan standar SNI 7391 : 2008.

B. Analisa Beban Harian

Dengan lampu CDM – T35 Watt berjumlah 27 buah, maka didapatkan daya total dari penerangan jalan adalah 945 Watt dengan jam operasi mulai pukul 17.00 hingga 05.00.

C. Perhitungan Pengaman dan Kabel

Pemilihan pengaman untuk generator dipilih MCB iC60N dengan rating 6 A, sedangkan pengaman untuk SDP A dipilih MCB iC60N dengan rating 3 A. Pemilihan MCB untuk masing – masing group dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pemilihan Pengaman pada Setiap Group

Group	Jumlah Beban (Lampu Jalan)	Daya (Watt)	I _{beban} (A)	Pengaman		
				I _{Nominal} (A)	Jenis	Kode
G1	7	245	1,4	2	MCB	iC60N
G2	3	105	0,6	1	MCB	iC60N
G3A	3	105	0,6	1	MCB	iC60N
G4A	7	245	1,4	2	MCB	iC60N
G5A	5	175	0,99	1	MCB	iC60N

Pemilihan kabel untuk generator adalah NYY 2 x 2,5 mm². Sedangkan pemilihan kabel untuk tiap – tiap group dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pemilihan Kabel pada Setiap Group

Group	Daya (Watt)	I _{Nominal} (A)	I _{Kabel} (A)	Kabel		
				Jenis	Jumlah	Ukuran
G1	245	2	3,4	NYN	2	2,5 mm ²
G2	105	1	1,7	NYN	2	2,5 mm ²
G3A	105	1	1,7	NYN	2	2,5 mm ²
G4A	245	2	3,4	NYN	2	2,5 mm ²
G5A	175	1	1,7	NYN	2	2,5 mm ²

D. Perhitungan Resistansi dan Reaktansi

Dengan mengetahui setiap detail rancangan titik instalasi listrik, maka resistansi dan reaktansi dapat dihitung menggunakan rumus 5 untuk resistansi dan 6 untuk reaktansi.

$$R1 = \rho \frac{l}{A} \quad (5)$$

Dimana :

ρ = Massa jenis penghantar

l = Panjang penghantar

A = Luas penampang penghantar

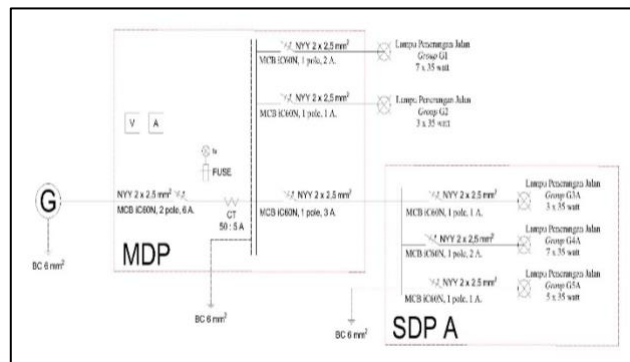
$$X1 = 0,15 \times \text{panjang penghantar} \quad (6)$$

Maka didapatkan nilai resistansi dan reaktansi pada setiap titik instalasi listrik sesuai tabel 4.

Tabel 4. Resistansi dan Reaktansi Setiap Titik Instalasi

Titik Instalasi Listrik	Resistansi (m Ω)	Reaktansi (m Ω)
Generator menuju MDP	R1	X1
MDP menuju Group G1	R2	X2
MDP menuju Group G2	R3	X3
MDP menuju SDP A	R4	X4
SDP A menuju Group G3A	R5	X5
SDP A menuju Group G4A	R6	X6
SDP A menuju Group G5A	R7	X7

E. Single Line Diagram



Gambar 9. Single Line Diagram

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari perancangan, dan analisa data ini dapat disimpulkan dalam beberapa poin sebagai berikut :

- Perencanaan pembangunan PLTMH di desa Jembul bisa direalisasikan oleh karena kondisi alam yang memenuhi kriteria. Dengan perencanaan head 3 m, debit 0,0607 m³/s, daya listrik yang dihasilkan generator sebesar 1 kW, PLTMH hanya menggunakan 10% dari debit air sungai maksimum sebesar 0,612 m³/s.
- Kebutuhan daya listrik berupa penerangan jalan yang dirancang sebesar 945 Watt yang beroperasi jam 17.00 hingga 05.00.
- Pemilihan kabel untuk semua group adalah NYY karena kabel jenis NYY cocok untuk instalasi outdoor. Untuk ukuran kabel minimal instalasi listrik yang digunakan berdasarkan PUIL (2011) bab 4 halaman 134 adalah 2,5 mm².
- Perencanaan PLTMH dapat menjadi sarana pembelajaran yang bagus untuk masyarakat desa Jembul oleh karena PLTMH memanfaatkan energi lingkungan sekitar untuk mencukupi kebutuhan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gore, Al. (2006). *Inconvenient Truth*.
- [2] (2016, 10 07). Retrieved from ESDM: <http://www.esdm.go.id/berita/37-umum/1962-potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-ind>
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Spesifikasi penerangan jalan di kawasan perkotaan*.