PERANCANGAN *PENSTOCK, RUNNER,* DAN *SPIRAL CASING* PADA TURBIN AIR *KAPLAN* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI SUNGAI SAMPANAHAN DESA MAGALAU HULU KABUPATEN KOTABARU

Budi Hartadi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan
JL. Adhyaksa No.02 Kayu Tangi Banjarmasin, Kalimantan selatan,
Telp. 0511- 3304352
Email : akbar_mitrajaya@yahoo.com

ABSTRAK

Daerah-daerah terpencil dan pedesaan umumnya tidak terjangkau jaringan listrik. Dalam kondisi dinamika, solusi yang memadai adalah dengan menyediakan pembangkit listrik setempat seperti generator yang menggunakan bahan bakar minyak. Solusi lainya adalah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan berasal dari air yaitu PLTMH. Dengan melihat keadaan daerah Magalau Hulu yang belum terjangkau jaringan listrik, merupakan alasan mendasar untuk memberdayakan potensi sungai Sampanahan di desa Magalau Hulu menjadi sumber pembangkit tenaga listrik yang diharapakan dapat membantu masyarakat Magalau Hulu, khusunya desa Magalau Hulu dalam meningkatkan keadaan ekonomi dan memenuhi kebutuhan kelistrikan di daerah tersebut, untuk itu dilakukan studi potensi air sungai Sampanahan dan perancangan turbin air untuk PLTMH, dari hasil perhitungan Sungai Sampanahan memiliki daya hidrolis air sebesar 55,628 watt, daya turbin sebesar 50,060 watt, dengan debit sebesar 1,89 m^3/s, dan head sebesar 3 m. Jenis turbin air yang digunakan adalah turbin kaplan.

Kata kunci*: daya hidrolis, pembangkit listrik tenaga mikrohidro,sumber energi terbarukan, turbin kaplan.*

ABSTACT

Remote areas and rural electricity network is generally not affordable . In dynamic conditions , an adequate solution is to provide local power plants as generators that use fuel oil. Other solution is to utilize a renewable energy source derived from water that is micro hydro power plant . By looking at the state of the upstream regions unreached Magalau Hulu electricity networks , is a fundamental reason for the empowering potential Sampanahan river in the village of Upper Magalau Hulu a source of power generation is expected to help people Magalau Hulu , Magalau Hulu villages especially in improving the state of the economy and meet the needs of electricity in the area , conducted the study for the potential Sampanahan river water and water turbine design for micro hydro power plant , from the calculation Sampanahan river has water for hydraulic power 55.628watts , 50.060 watts of power turbines , with a discharge of 1.89 m^3/s , and the head of 3 m . Types of water turbines are used kaplan turbine .

Keywords: *hydraulic power, micro hydro power plant, renewable energy sources, kaplan turbine.*

PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan utama perumahan yang harus di penuhi di dalam pembangunan suatu perumahan baik perumahan sederhana maupun di dalam pembanguan rumah susun. Permasalahan yang ada saat ini adalah terbatasnya suplai tenaga listrik yang mengakibatkan krisis energy tenaga listrik.

Daerah-daerah terpencil dan pedesaan umumnya tidak terjangkau jaringan listrik. Dalam kondisi dinamika, solusi yang memadai adalah dengan menyediakan pembangkit listrik setempat seperti generator (genset) yang menggunakan bahan bakar minyak (BBM). Solusi lainnya adalah menggunakan sumber energy lain yang berasal dari air, angin, cahaya matahari, dan biomass. Sistem ini lazim disebut dengan pembangkit listrik skala kecil tersebar (PSK Tersebar) yang dianjurkan untuk menggunakan energy terbarukan.

Memanfaatkan sumber energy terbarukan berasal dari air dan mempunyai beda ketinggian ini dapat dibangun pembangkit listrik tenaga

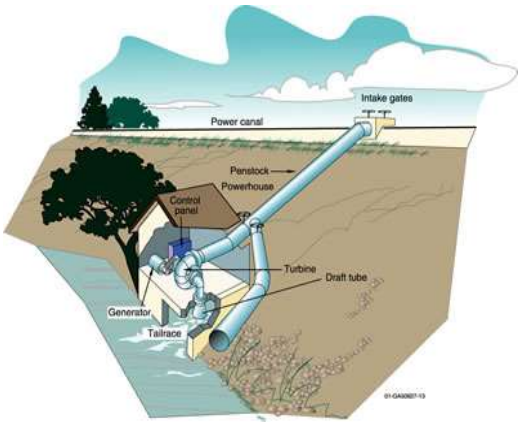
mikrohidro (PLTMH). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagai solusi konservasi energy dan konservasi lingkungan. Mikrohidro adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro (dibandingkan dengan PLTA skala besar) berimplikasi pada relative sederhananya peralatan serta kecilnya areal tanah yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan.

Dengan melihat keadaan daerah Magalau Hulu yang belum terjangkau jaringan listrik, merupakan alas an mendasar untuk memberdayakan potensi sungai Sampanahan di desa Magalau Hulu menjadi sumber pembangkit tenaga listrik yang diharapakan dapat membantu masyarakat Magalau Hulu, khusunyadesa Magalau Hulu dalam meningkatkan keadaan ekonomi dan memenuhi kebutuhan kelistrikan di daerah tersebut. Untuk itu dilakukan studi potensi air sungai Sampanahan dan perancangan turbin air sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perancangan dimensi *penstock, runner,* dan*spiral casing* jenis turbin air *kaplan* yang cocok dengan potensi sumber air yang ada untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Prinsip Kerja PLTMH

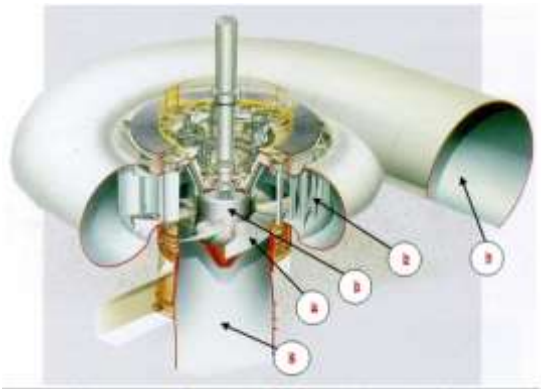
Pembangkit listrik tenaga mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.



Gambar 1. Layout Prinsip Kerja PLTMH [3]

Turbin Air Kaplan

Prinsip kerja turbin *Kaplan* adalah air yang mengalir dari *water intake* (kanal) mula-mula memasuki *spiral casing* (rumah spiral). Kemudian akibat bentuk *volute* dari *spiral casing*, air diarahkan untuk memasuki *guide vane* (sudu arah) secara tangensial. Setelah keluar dari *guide vane* aliran air bergerak kearah aksial karena pengaruh *whirl chamber* (ruang pusar) kemudian air akan memasuki *runner* (sudu gerak). Pada *runner*, aliran air mengalami perubahan momentum yang menyebabkan timbulnya putaran pada poros turbin. Air selanjutnya keluar dari turbin melalui *draft tube* (saluran pembuangan).



Gambar 2. Komponen Utama Turbin Air Jenis*Kaplan* [5]

Keterangan Gambar 2:
1. *Spiral casing* (rumah spiral)

2. *Guide vane* (sudu arah)
3. *Runner* (sudu gerak)
4. *Blade* (daun atau pisau)
5. *Draft tube* (saluran pelepasan)

PotensiAliran Air Sungai

1. *Head*

Head merupakan tinggi jatuh air atau dari permukaan air ke dasar terdalam.

2. Debit

$$Q = A \times v \quad (1)$$

Dimana:

A = Luas penampang (m^2)

v = Kecepatan aliran rata-rata pada luas bagian penampang (m/detik)

3. Daya Hidrolis Air

$$WHP = \rho \times g \times Q \times H \quad (2)$$

Dimana:

WHP = Daya hidrolis air (watt)

ρ = Densitas air (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = Debit air (m^3/detik)

H = *Head* (m)

4. Daya Turbin

$$P_T = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_T \quad (3)$$

Dimana:

P_T = Daya turbin (watt)

Q = Debit air (m^3/detik)

H = *Head* (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

η_T = Efesiensi turbin (0,9)

- 0,8 - 0.85 untuk turbin *pelton*
- 0.8 - 0.9 untuk turbin *francis*
- 0.8 - 0.9 untuk turbin *propellerkaplan*
- 0.7 - 0.8 untuk turbin *crossfiow*

Kriteria Pemilihan Jenis Turbin Air

Pemilihan jenis turbin berdasarkan kecepatan spesifik

$$N_s = n\frac{\sqrt{P_T}}{H^{5/4}} \quad (4)$$

Di mana:

N_s = Putaran spesifik turbin (rpm)

n = Putaran poros turbin (rpm)

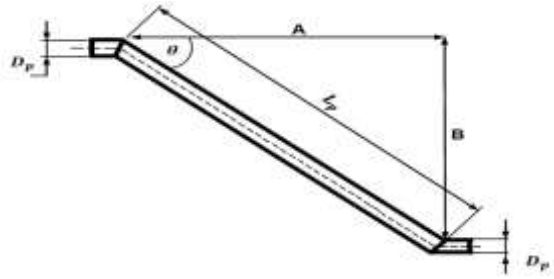
P_T = Daya turbin (HP)

H = Head (m)

Tabel 1. Kisaran Kecepatan Spesifik Beberapa Turbin Air [10]

Jenis turbin	Kisaran kecepatan spesifik
Pelton	$12 \leq N_s \leq 25$
Francis	$60 \leq N_s \leq 300$
Cross flow	$40 \leq N_s \leq 200$
Kaplan dan *Propeller*	$250 \leq N_s \leq 1000$

Perencanaan *Penstock*



Gambar 3. Bentuk dan Dimensi *Penstock*

1. Diameter *penstock* (D_p)

$$D_p = 0{,}72 \times Q^{0{,}5} \quad (5)$$

Dimana:

D_p = Diameter *penstock* (m)

Q = Debit air (m^3/detik)

2. Jarak pemasukan pipa pesat dari muka air atas (C_p)

$$C_p = \frac{s}{D_p} \quad (6)$$

Dimana:

C_p = Jarak pemasukan pipa pesat dari muka air atas (m)

D_p = Diameter *penstock* (m)

$s = \frac{V_p}{\sqrt{g \times D_p}}$

V_p = Laju aliran didalam *penstock* (m/detik)

3. Panjang *penstock* (L_p)

$$L_p = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (7)$$

Dimana:

L_p = Panjang *penstock* (m)

A = Jarak bendungan dengan posisi turbin yang direncanakan (m)

B = Selisih *head* dengan Jarak pemasukan pipa pesat dari muka air atas (m)

4. Tebal *penstock* (t_p)

$$t_p = \frac{D_p+508}{1400} \quad (8)$$

Dimana:

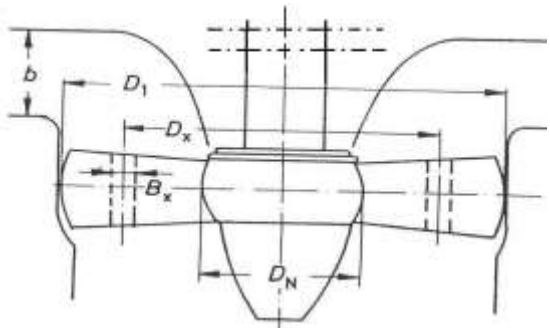
t_p = tebal *penstock* (inchi)

D_p = diameter *penstock* (inchi)

5. Sudut elevasi *penstock* (θ)

Untuk mengetahui elevasi *penstock* menggunakan aplikasi AutoCad, penggambaran sketsa elevasi *penstock* pada AutoCad dapat dilihat pada Gambar 3, penggambaran dengan ukuran garis A, B, dan L_p, kemudian pilih *toolbar* angular pilih garis A dan L_p, maka di dapat sudut elevasi *penstock* (θ).

Perencanaan *Runner*



Gambar 4. Dimensi Sudu Gerak (*Runner*) [6]

1. Kecepatan spesifik berdasarkan debit aliran air (nq)

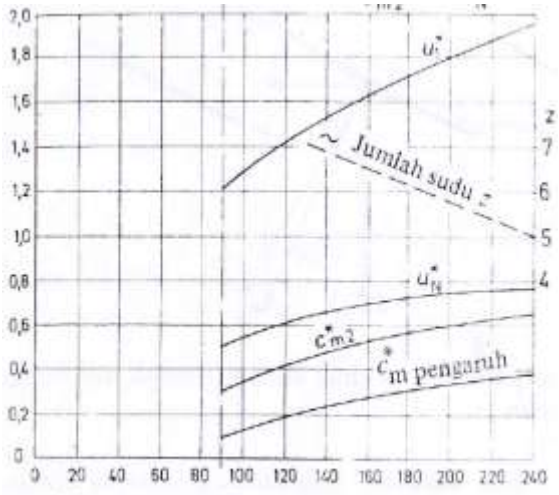
$$nq = n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \quad (9)$$

Dimana:

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

Q = Debit air (m^3/detik)

H= *Head* (m)



Gambar 5. Harga Untuk Menentukan Ukuran–Ukuran Utama Turbin *Kaplan* [6}

- Kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu (u_1)

$$u_1 = u^*_1 \times \sqrt{2 \times g \times H} \quad (10)$$

Dimana:

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

H = Head (m)

- Kecepatan tangensial masuk sudu pada leher poros (u_N)

$$u_N = u^*_N \times \sqrt{2 \times g \times H} \quad (11)$$

Dimana:

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

H = Head (m)

2. Diameter luar *runner* (D_1)

$$D_1 = \frac{60 \times u_1}{\pi \times n} \quad (12)$$

Dimana:

u_1 = Kecepatan tangensial masuk sudu pada sisi luar sudu

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

5. Diameter leher poros (D_N)

$$D_N = \frac{60 \times u_N}{\pi \times n} \quad (13)$$

Dimana:

u_N = Kecepatan tangensial masuk sudu pada leher poros

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

6. Lebar runner (B_X)

$$B_X = \frac{D_1}{2} - \frac{D_N}{2} \quad (14)$$

Dimana:

D_1 = Diameter luar *runner* (m)

D_N = Diameter leher poros (m)

Diameter tengah *runner* (D_X)

$$D_X = B_X + D_N \quad (15)$$

Dimana:

B_X = Lebar *runner* (m)

D_N = Diameter leher poros (m)

7. Tinggi sudu pengarah (b)

$$b = D_1 \times \left(0{,}45 - \left(\frac{31{,}80}{n_s}\right)\right) \quad (16)$$

Dimana:

D_1 = Diameter luar *runner* (m)
N_S = Kecepatan Spesifik (rpm)

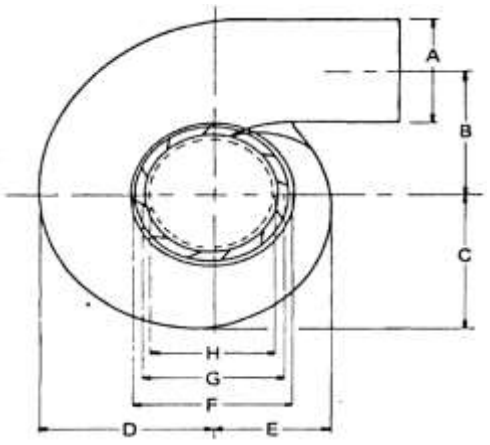
8. Jarak antar *blade* (t)

$$t = \frac{D_N \times \pi}{z} \quad (17)$$

Dimana:
D_N = Diameter leher poros (m)
Z = Jumlah *blade*

Perencanaan *Spiral Casing*

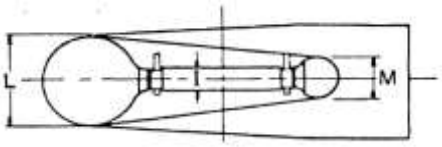
Perencanaan berdasarkan pandangan atas



Gambar 6. Pandangan Atas S*piral Casing* [17]

1. Ukuran pada bagian (A)
$$\frac{A}{D_1} = 0{,}40 \times {N_s}^{0{,}20} \quad (18)$$
2. Ukuran pada bagian (B)
$$\frac{B}{D_1} = 1{,}26 + 3{,}79 \times 10^{-4} \times N_s \quad (19)$$
3. Ukuran pada bagian (C)
$$\frac{C}{D_1} = 1{,}46 + 3{,}24 \times 10^{-4} \times N_s \quad (20)$$
4. Ukuran pada bagian (D)
$$\frac{D}{D_1} = 1{,}59 + 5{,}74 \times 10^{-4} \times N_s \quad (21)$$
5. Ukuran pada bagian (E)
$$\frac{E}{D_1} = 1{,}21 + 2{,}71 \times 10^{-4} \times N_s \quad (22)$$
6. Ukuran pada bagian (F)
$$\frac{F}{D_1} = 1{,}45 + \left(\frac{72{,}17}{N_s}\right) \quad (23)$$
7. Ukuran pada bagian (G)
$$\frac{G}{D_1} = 1{,}29 + \left(\frac{41{,}63}{n_s}\right) \quad (24)$$
8. Ukuran pada bagian (H)
$$\frac{H}{D_1} = 1{,}13 + \left(\frac{31{,}86}{n_s}\right) \quad (25)$$

Perencanaan berdasarkan pandangan samping



Gambar 7 Pandangan Samping *Spiral Casing* [17]

1. Ukuran pada bagian (I)
$$\frac{I}{D_1} = 0{,}45 - \left(\frac{31{,}80}{n_s}\right) \quad (26)$$
2. Ukuran pada bagian (M)
$$\frac{M}{D_1} = \frac{1}{2{,}06 - 1{,}20 \times 10^{-3} \times N_S} \quad (27)$$
3. Ukuran pada bagian (L)
$$\frac{L}{D_1} = 0{,}74 + 8{,}7 \times 10^{-4} \times N_s \quad (28)$$

METODE PENELITIAN

Pemeriksaan Awal

Dalam pemeriksaan awal yang dilakukan adalah memeriksa aliran air di sungai Sampanahan yang memiliki arus deras dan *head* dan dekat dengan perumahan penduduk.

Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data pada penelitian ini diperoleh secara langsung melalui proses pengamatan dan pengukuran, prosedur yang dilakukan adalah

1. Merencanakan dan memberi tanda area-area dan titik-titik pada sungai yang akan di ukur
2. Menentukan tiga titik awal dengan panjang 6,70 m tegak lurus terhadap aliran air sungai di area 1
3. Mengukur kecepatan aliran air sungai dari area 1 ke area 2 (metode bola ping-pong dan tali)
   - Mengukur tali sepanjang 4 meter
   - Membentangkan tali di titik dari area 1 ke area 2 pada sungai searah aliran air
   - Menjatuhkan bola ping-pong dari awal tali ke ujung (sambil mengukur waktu sampainya bola dari pangkal tali ke ujung dengan stopwatch)
   - Mencatat waktu

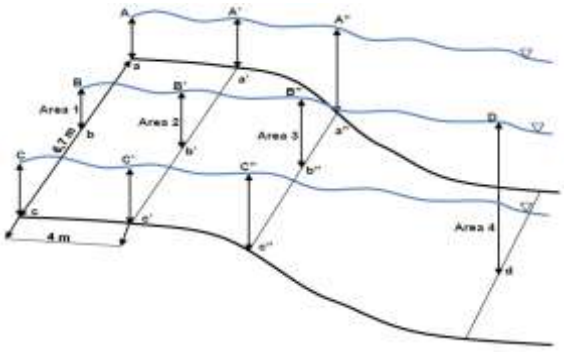
- Mengulang cara nomor 3 sampai 4 hingga tiga kali di titik yang sama, kemudian di titik berikutnya

4. Kedalaman Sungai (media kayu)
   - Menancapkan kayu di dasar sungai pada titik-titik yang telah ditentukan
   - Memberi tanda rata air sungai pada kayu
   - Mengukur panjang kayu yang diberi tanda
   - Mengulangi cara nomor 1 sampai 3 hingga tiga kali di titik- titik yang ditentukan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan

Dari hasil pengamatan dengan metode penelitian yang telah dilakukan di Sungai Sampanahan, didapat sketsa penampang sungai yang ditunjukan pada Gambar3, kemudian dilakukan pengukuran kecepatan aliran air sungai, kedalaman air sungai, dan menghitung debit aliran air sungai tersebut



Gambar 8. Sketsa Penampang Sungai

Hasil Perhitungan Data

1. *Head*

Head merupakan tinggi jatuh air atau dari permukaan air ke dasar terdalam, dari survei yang dilakukan *head* sebesar 3 m pada titik D di Gambar 3.

2. *Debit*

Perhitungan debit ditentukan pada area 2, di area ini yang akan dibuat bendungan untuk mendapatkan *head*.

Tabel 2. Perhitungan Debit Air Sungai

Area	L (m)	t (m)	A (m^2)	v (m/s)	Q (m^3/s)
2A	3,35	0,49	1,64	0,99	1,62
2B	3,35	0,65	2,17	0,99	2,15
Total Debit					3,77

$$\sum Q = \frac{total\ debit}{2} = \frac{3{,}77}{2} = 1{,}89\ m^3/s$$

Jadi debit air sungai sebesar $1{,}89\ m^3/s$

3. Data - data Teknis Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Tabel 3. Data Potensi Sungai Sampanahan

No	Besaran	Simbol	Nilai	Satuan
1	Kecepatan aliran air	v	0,99	m/s
2	*Head*	H	3	m
3	Debit air	Q	1,89	m^3/s
4	Daya hidrolis air	WHP	55,628	watt
5	Daya turbin	P_T	50,060	watt

Tabel 4. Data Teknis *Penstock*

No	Besaran	Simbol	Nilai	Satuan
1	Diameter *penstock*	D_p	0,99	m
2	Panjang *penstock*	L_p	4,02	m
3	Tebal *penstock*	t_p	9,9	mm

Tabel 5. Data Teknis Runner Turbin Air *Kaplan*

No	Besaran	Simbol	Nilai	Satuan
1	Kecepatan spesifik	N_s	830	rpm
2	Diameter luar *runner*	D_1	0,72	m
3	Diameter leher poros	D_N	0,29	m
4	Lebar *runner*	B_N	0,22	m
5	Diameter tengah *runner*	D_N	0,51	m
6	Tinggi sudu pengarah (*guide vane*)	b	0,30	m
7	Jumlah *blade*	z	10	buah
8	Jarak antar *blade*	t	0,091	m
9	Putaran turbin	n	400	rpm

Tabel 6. Data Ukuran-ukuran Bagian Dari *Spiral Casing* Pada Pandangan Atas

No	Besaran	Nilai	Satuan
1	Ukuran pada bagian A	1,1	m
2	Ukuran pada bagian B	1,13	m
3	Ukuran pada bagian C	1,24	m
4	Ukuran pada bagian D	1,49	m
5	Ukuran pada bagian E	2,15	m
6	Ukuran pada bagian F	1,1	m
7	Ukuran pada bagian G	0,96	m
8	Ukuran pada bagian H	0,84	m

Tabel 7. Data Ukuran-ukuran Bagian Dari *Spiral Casing* Pada Pandangan Samping

No	Besaran	Nilai	Satuan
1	Ukuran pada bagian I	0,30	m
2	Ukuran pada bagian M	0,66	m
3	Ukuran pada bagian L	1,05	m

KESIMPULAN

1. Potensi sungai Sampanahan memiliki daya hidrolis air (WHP) sebesar 55.628 watt, dan daya turbin yang dapat dibangkitkan (P_T) sebesar 50.060 watt dengan debit 1,89 m^3/ detik dan *head* 3 m.
2. Perancanga *penstock* diameter *penstock* (D_p) = 0,99 m, jarak pemasukan pipa pesat (*penstock*) dari muka air atas (C_p) = 0,322 m, panjang *penstock* = 4,02 m, tebal *penstock* = 9,9 m, sudut elevasi *penstock* = 42^o.
3. Perancangan *runner p*utaran turbin (n) = 400 rpm, kecepatan spesifik (N_S) = 830 rpm, diameter luar *runner* (D_1) = 0,72 m, diameter leher poros (D_N) = 0,29 m, lebar runner (B_X) = 0,22 m, diameter tengah *runner* (D_X) = 0,51 m, tinggi sudu pengarah (*guide vane*) (b) = 0,30 m, jumlah *blade* (z) = 10 buah, jarak antar *blade* (t) = 0,091 m.
4. Perancangan *spiral casing* pada pandangan atas, ukuran pada bagian A = 1,1 m, ukuran pada bagian B = 1,13 m, ukuran pada bagian C = 1,24 m, ukuran pada bagian D = 1,49 m, ukuran pada bagian E = 2.15 m, ukuran pada bagian F = 1,1 m, ukuran pada bagian G = 0,96 m, ukuran pada bagian H = 0,84 m. Perancangan *spiral casing* pada pandangan samping, ukuran pada bagian I 0,30 m, ukuran pada bagian M = 0,66 m, ukuran pada bagian L = 1,05 m.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anggraini Ika Novia. 2012. *Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Pemanfaatan Potensi Air di Desa Benteng Besi Kabupaten Lebong Provinsi Bengkulu*. Jurnal *Amplifier* Vol. 2 No. 1. Universitas Bengkulu. Bengkulu.

[2] Arismunandar Wiranto. 2004. *Penggerak Mula Turbin*. ITB. Bandung.

[3] Bumbuna Hydro Electric Environmental And Social Management Project. 2012. *Photo Gallery*, termuat di thtp://www.bumbuna.sl/gallery.php?p=0#top , diakses 7 Maret 2014.

[4] Bri. 2013. *Listrik Murah dan Bersih dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*, termuat di http://ndoware.com/listrik-murah-dan-bersih-dengan-pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro.html, diakses 27 Januari 2014.

[5] Didik Ashari H. 2010. *Perancangan Dan Pembuatan Turbin Air Kaplan Sebagai Pembangkit Litrik Tenaga Mikrohidro (Bertitik Berat Pada Dimensi Runner)*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

[6] Dietzel Fritz. 1996. *Turbin Pompadan Kompresor*. Alih bahasa Dakso Sriyono. Erlangga. Jakarta.

[7] Fahrizal, Ubaidillah. 2009. *Perancangan Turbin Kaplan Pada Sungai Lodagung Blitar Dengan kondisi Perancangan Head 4 m dan Debit 12 m^3/s*. Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

[8] Hermawan. 2013. *Perancangan Ulang Turbin Kaplan Pada PLTA Wonogiri Dengan Daya Terpasang 6,2 MW*. Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta. Yogyakarta.

[9] Himpunan Mahasiswa Elektro. 2012. *PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)*, termuat dihttp://himateknikelektro.blogspot.com/2012/01/pltmh-pembangkit-listrik-tenaga-mikro.html, diakses 12 Februari 2014.

[10] Kadir Ramli. 2010. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Sungai Marimpa Kecamatan Pinembani*. Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Palu.

[11] Patty. O. F.1995. *Tenaga Air*. Erlangga. Jakarta.

[12] Paryatmo Wibowo. 2007. *Turbin Air*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

[13] Prytho. 2010. *Pembangkit Listrik Tenaga Air Dengan Turbin Pelton*, termuat di http://turbin-pelton.blogspot.com/2010/09/gambar-gambar-turbin-pelton modern.html, diakses 1 Februari 2014.

[14] Saiyidin Nasrul. 2005. *Perancangan Dan Pembuatan Turbin Air Kaplan Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*

(Bertitik Berat Pada Dimensi Guide Vane). Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

[15] Sunyoto. 2008. *Teknik Mesin Industri, jilid 3*. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

[16] Yunar Alfi. 2009. *Perencanaan Low Head Mikrohidro Di Dusun IV Desa Walatana Kec. Dolo Selatan Kabupaten Sigi*. Media Litbang Sulteng. Palu.

[17] Warnick. C. C. 1984. *Hydropower Engineering*. Professor of Civil Engineering. Universty of Indaho Moscow, Indaho.