

# Kajian Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Memanfaatkan Aliran Sungai Kelampauk di Desa Tamblang-Buleleng

Dewa Ngakan Ketut Putra Negara

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung

e-mail:devputranegara@me.unud.ac.id

---

## Abstrak

*Kebutuhan energi listrik semakin meningkat sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Menurut data dari PLN, konsumsi listrik untuk Provinsi Bali diperkirakan mengalami pertumbuhan kebutuhan rata-rata 5,6 % per tahunnya. Hingga tahun 2007 kondisi kelistrikan di Bali sebenarnya sudah tergolong kritis. Apabila pembangkit terbesar di Bali, PLTG Gilimanuk yang memiliki daya 130 MW keluar dari sistem, maka cadangan listrik di Bali sudah minus. Akibatnya akan terjadi pemadaman bila tidak ada tambahan pembangkit atau pasokan energi baru. Hal ini perlu diantisipasi dengan penggalakkan program pemanfaatan sumber energi thermal seperti batu bara, gas dan panas bumi, serta pemanfaatan energi alternatif seperti energi surya, angin, dan energi samudra. Kabupaten Buleleng merupakan salah satu kabupaten di Bali yang memiliki potensi pengembangan energi terbarukan terutama yang bersumber dari air. Kabupaten Buleleng memiliki beberapa sungai yang berpotensi dikembangkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Salah satu contohnya adalah Sungai Kelampauk yang terletak di Desa Tamblang. Sebagai langkah awal pengembangan suatu PLTMH, perlu diketahui kapasitas aliran (debit) dan ketinggian air jatuh (head) dari sungai tersebut. Untuk keperluan tersebut, perlu diteliti kapasitas aliran (debit) dan ketinggian air jatuh (head) dari Sungai Kelampauk sehingga nantinya dapat diperkirakan potensi daya listrik yang bisa dibangkitkan.*

*Kata kunci: Tin bronze, tingkat deformasi, kekerasan material, ketangguhan retak*

## Abstract

# Potency of Micro Hydro Power Plant Development Use of Kelampauk River Flow Located in Tamblang Village – Buleleng

*Need of electrical energy is increasing along with people population and economic growth. According to PLN data, Bali Province's electrical consumption is predicted growth 5,6% in average every year. Until year 2007, electrical condition in Bali is categorized critical. If Power Plant in Bali, PLTG Gilimanuk that has power 130 MW is out of system, affecting Bali's electrical back up is minus. Consequenly, it will be extinguishing if there is not adding power plan or new energy supply. This problem needs to be anticipated by use of thermal energy program such as coal, gas and geothermal and use of alternative energy such as solar, wind and ocean energies. Regency of Buleleng is one of Regency in Bali having potency of renewable energy development especially water resource. It has some rivers that have potency to be developed as a Micro Hydro Power Plant (PLTMH). One of them is Kelampauk River which is located in Tamblang Village. As a first step in developing of Micro Hydro Power Plant, it needs to be known water debit and head of the river. For that reason, it needs to be investigated debit and head of Kelampauk River so that it can be predicted the power can be generated.*

*Keywords: Micro Hydro Power Plan, Alternative energy, Renewable energy*

---

## 1. Pendahuluan

Energi terutama energi listrik telah menjadi kebutuhan yang sangat vital dalam kehidupan manusia, baik untuk konsumsi rumah tangga atau perorangan maupun untuk kegiatan usaha. Ketenagalistrikan juga merupakan salah satu pendorong pertumbuhan ekonomi nasional, karena listrik adalah penggerak roda perekonomian masyarakat. Menurut data dari PLN, untuk Provinsi Bali konsumsi listrik diperkirakan mengalami pertumbuhan kebutuhan rata-rata 5,6 % per tahunnya.

Hingga tahun 2007 kondisi kelistrikan di Bali sebenarnya sudah tergolong kritis. Apabila

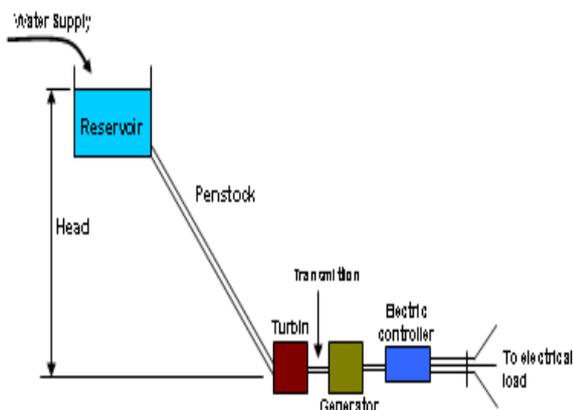
pembangkit terbesar di Bali, PLTG Gilimanuk yang memiliki daya 130 MW keluar dari sistem, maka cadangan listrik di Bali sudah minus. Akibatnya akan terjadi pemadaman bila tidak ada tambahan pembangkit atau pasokan energi baru. Melihat kondisi ini, sejak tahun 2000 telah digalakkan program hemat energi untuk mengantisipasi kekurangan daya tersebut yaitu dengan mengurangi pemakaian sumber energi primer dari BBM dan beralih ke sumber energi thermal seperti; Batu Bara, Gas dan Panas Bumi, Matahari (solar energy) dan Hydro (Air) serta pemanfaatan energi alternatif seperti energi surya, angin, dan energi samudra.

Kabupaten Buleleng merupakan salah satu kabupaten di Bali dimana masih terdapat beberapa dusun yang belum teraliri listrik atau teraliri listrik sebagian seperti misalnya Dusun Sukadarma, Dusun Antapura, Dusun Batu Makecuh, Dusun Panjangan, Dusun Mengandang dan lain-lain. Hal ini kemungkinan disebabkan sulitnya dusun-dusun tersebut dijangkau karena letaknya yang terpencil dan prasarana jalan yang masih belum ada atau mungkin juga karena pasokan dari PLN memang tidak mencukupi. Untuk memenuhi kebutuhan listrik pedesaan ini perlu digalakkan pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan yang dimiliki daerah tersebut seperti potensi air, matahari dan angin. Kabupaten Buleleng memiliki beberapa sungai yang berpotensi dikembangkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Salah satu contohnya adalah Sungai Kelampauk yang terletak di Desa Tamblang. Sebagai langkah awal pengembangan suatu PLTMH, maka harus diketahui kapasitas aliran (*debit*) dan ketinggian air jatuh (*head*) dari sungai tersebut. Untuk keperluan tersebut, perlu diteliti kapasitas aliran (*debit*) dan ketinggian air jatuh (*head*) dari Sungai Kelampauk sehingga nantinya dapat diperkirakan potensi daya listrik yang bisa dibangkitkan, jenis turbin dan generator yang sesuai untuk kondisi tersebut.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohydro (PLTMH)

PLTMH merupakan pembangkit listrik dengan memanfaatkan aliran sungai (skala kecil) untuk menghasilkan daya listrik dengan menggunakan turbin air dan generator. Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Turbin mengubah energi dalam bentuk air terjun menjadi daya putar poros.



**Gambar 1. Komponen-komponen PLTMH**

Sumber : Maher and Smith, 2001, hal. 2-1

### 2.2. Komponen-Komponen PLTMH

Secara umum lay-out sistem PLTMH merupakan pembangkit jenis *run off river*, memanfaatkan aliran air permukaan (sungai). Komponen sistem PLTMH tersebut terdiri dari bangunan intake (penyadap) - bendungan, saluran pembagi, bak pengendap dan penenang, saluran pelimpah, pipa pesat, rumah pembangkit dan saluran pembuangan. Lay-out dasar pada perencanaan pengembangan PLTMH dimulai dari penentuan lokasi intake, bagaimana aliran air akan dibawa ke turbin dan penentuan tempat rumah pembangkit untuk mendapatkan tinggi jatuhnya (*head*) optimum dan aman dari banjir.

#### A. Sumber Air (*Water Supply*)

Sumber aliran air penggerak turbin PLTMH biasanya sungai. Sebagai suatu syarat adalah bahwa debit sumber aliran air tersebut harus kontinyu sepanjang tahun. Untuk dapat mengetahui daya potensial air dari suatu sumber adalah penting untuk mengetahui kapasitas aliran ( $m^3/det$ ) dan *head* (m) yang tersedia. Daya ini akan dirubah oleh turbin air menjadi daya mekanik. Daya teoritis yang tersedia adalah [Dietzel, 1988]

$$P_a = \gamma QH \quad (1)$$

Dimana :

- $P_a$  = Daya teoritis yang tersedia (Watt)
- $Q$  = Kapasitas aliran air ( $m^3/det$ )
- $H$  = *Head* atau tinggi air jatuh (m)
- $\gamma$  = Berat jenis air ( $9.800 N/m^3$ )

#### B. Bangunan Intake / Forebay-Tank / Reservoir

Bangunan intake berfungsi sebagai penampung air yang nantinya akan digunakan/dialirkan ke turbin melalui pipa penstock. Bangunan intake didesain sedemikian sehingga dapat menjamin debit aliran air ke sistem microhydro sesuai dengan debit yang dibutuhkan. Tergantung dari kualitas fisik air, suatu unit penyaring air berupa *graveltrap* atau *trashrack* mungkin dibutuhkan dalam bangunan intake untuk menghindari tersumbatnya turbin air pada sistem PLTMH. Demikian juga, intake perlu dilengkapi dengan sistem pelimpah untuk menghindari berlebihnya kapasitas air, serta dilengkapi dengan sistem penguras untuk sewaktu-waktu membersihkan intake dari endapan yang terjadi dalam suatu periode tertentu.

#### C. Pipa Pesat atau *Penstock Pipe*

Pipa penstock digunakan untuk mengalirkan dan mengarahkan aliran air dari bak intake ke turbin. Pada proses ini, energi potensial air dirubah menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Ukuran dari pipa penstock tergantung dari besarnya debit air yang harus dialirkan, semakin besar diameter pipa yang digunakan akan memperkecil *head losses* yang terjadi namun

capital costnya makin besar, dan sebaliknya semakin kecil ukuran pipanya akan memperbesar head losses yang terjadi namun capital costnya semakin kecil. Sebagai acuan dalam penentuan ukuran pipa adalah bahwa kecepatan aliran air dalam pipa adalah berkisar antara 0,6 m/detik sampai dengan 2,5 m/det.

**D. Powerhouse dan Tailrace**

Powerhouse merupakan bangunan yang berfungsi melindungi turbin, generator, dan unit control sedangkan tailrace adalah kanal untuk mengarahkan aliran air kembali ke saluran irigasi/sungai untuk pemanfaatan lebih lanjut.

**E. Turbin**

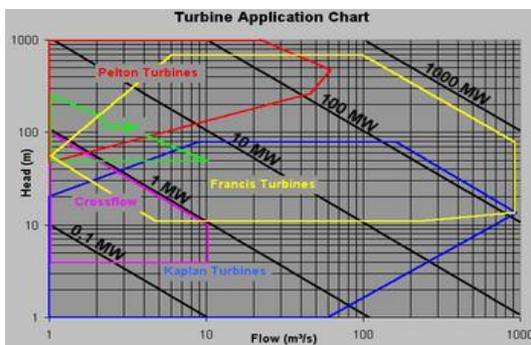
Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi putar/mechanis atau daya poros. Air mengalir memiliki energi hidrolis dialirkan ke turbin yang terdiri dari runner. Runner dihubungkan dengan poros yang berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis atau daya poros. Ke generator, turbin bisa dihubungkan secara langsung atau bisa juga melalui roda-gigi atau belt dan pulley, tergantung pada putaran turbin.

**Tabel 1. Klasifikasi turbin air**

Turbine Runner	High Head (more than 100 m/325 ft)	Medium Head (20 to 100 m/60 to 325 ft)	Low Head ( 5 to 20 m/16 to 60 ft)	Ultra-Low Head (less than 5 m/16 ft)
Impulse	Pelton Turgo	Cross-flow Turgo Multi-Jet Pelton	Cross-flow Multi-Jet Turgo	Water Wheel
Reaction	-	Francis Pump-as-Turbin	Propeller Kaplan	Propeller Kaplan

Sumber : Natural Resources Canada, 2004

Pemilihan turbin bisa juga didasarkan atas head dan debit air yang masuk ke turbin, seperti ditunjukkan pada gambar 2.



**Gambar 2. Grafik pemakaian jenis-jenis turbin**

**F. Generator**

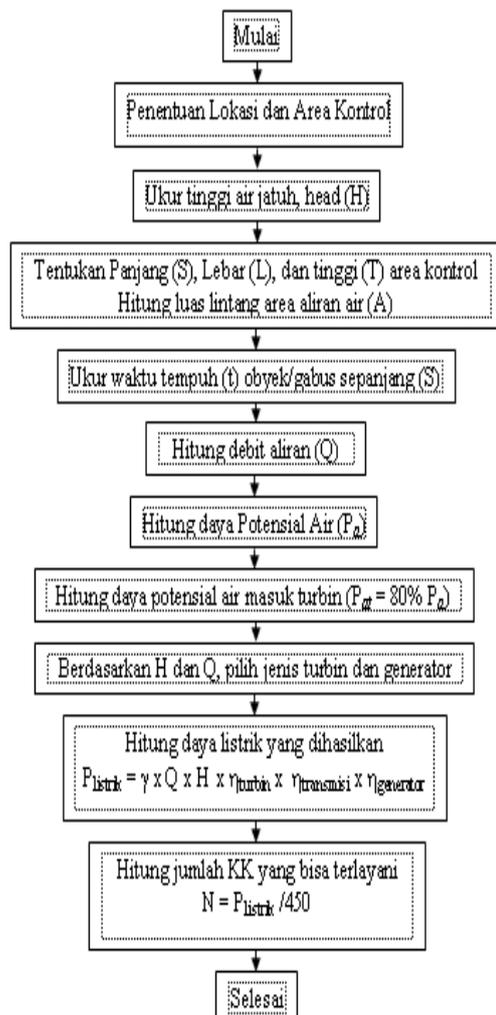
Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik (putaran poros) menjadi energi listrik. Ada dua tipe generator, yaitu generator synchronous dan asynchronous (umumnya

disebut induction generator). Generator sinkron adalah standar generator yang digunakan dalam pembangkit daya listrik dan digunakan pada kebanyakan power plant. Semua generator harus digerakkan pada putaran konstan untuk menghasilkan daya yang konstan pada frekuensi 50 Hz. Untuk microhydro umumnya digunakan generator 4 kutub dengan putaran sekitar 1.500 rpm. Generator sinkron mempunyai efisiensi antara 75% sampai dengan 90% pada beban penuh, tergantung pada ukuran generatornya. Efisiensi generator induksi berkisar 65% (pada beban sebagian) sampai dengan 75% (pada beban penuh). Besarnya daya listrik yang dihasilkan generator ( $P_L$ ) adalah:

$$P_L = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{transmisi}} \cdot \eta_{\text{generator}} \quad (2)$$

**3. Metode Penelitian**

**Skematik Langkah Penelitian**

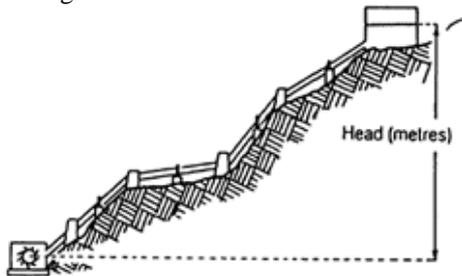


**Survey lapangan**

Survey lapangan dilakukan untuk menentukan lokasi atau letak titik-titik pengukuran head dan debit aliran.

**Pengukuran head**

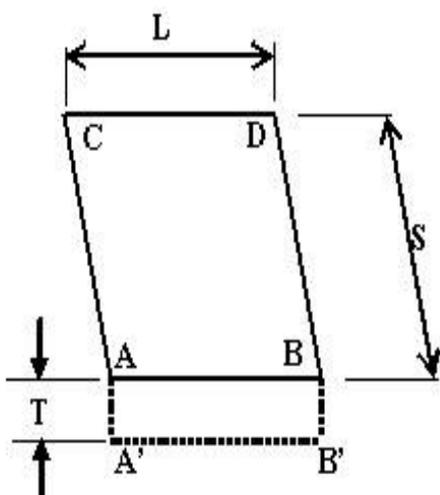
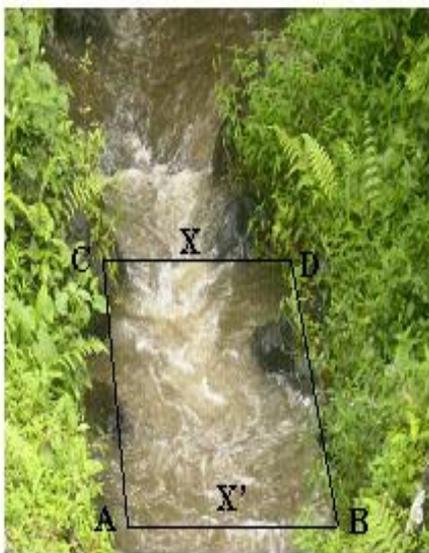
Head (H) merupakan ketinggian air jatuh yang diukur dalam arah vertikal. Ketinggian elevasi ini diukur dengan altimeter.



Gambar 3. Pengukuran head

**Pengukuran debit aliran**

Skematik penentuan debit aliran ditunjukkan seperti gambar 4.



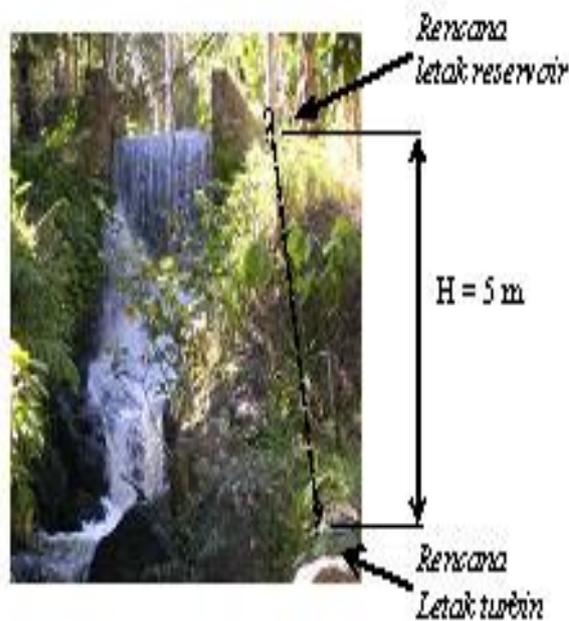
Gambar 4. Skematik penentuan debit aliran

Debit aliran merupakan perkalian kecepatan aliran air dengan luas penampang basah. Area

kontrol ditentukan seperti gambar 8. Panjang area kontrol  $S = 2$  m, lebar  $L = 0,8$  m, kedalaman  $T = 0,25$  m. Obyek dilepaskan dari titik X, bersamaan dengan itu stopwatch diaktifkan. Setelah obyek sampai di X', stopwatch dimatikan. Catat waktu (t) pada stopwatch. Kecepatan aliran (V) adalah jarak (S) dibagi dengan waktu (t). Sedangkan debit aliran (Q) adalah perkalian antara kecepatan aliran (V) dengan luas penampang basah aliran (A), yaitu  $L \times T = 0,2$  m<sup>2</sup>.

**4. Hasil dan Pembahasan**

Dari pengukuran diperoleh head (H) yaitu perbedaan tinggi permukaan air teratas dengan rencana tempat turbin adalah 5 m.



Gambar 5. Sungai Kelampauk

Debit aliran rata-rata selama lima bulan (tabel 4) diperoleh sebesar  $Q = 0,32$  m<sup>3</sup>/s. Untuk keamanan debit aliran rencana (Qa) diambil 80% dari debit aliran rata-rata.

$$Q_a = 0,8 \cdot Q = 0,8 \cdot 0,32 = 0,256 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Daya potensial air (Pa) pada pipa keluaran pada kapasitas aliran (Qa) = 0,256 m<sup>3</sup>/dt dan tinggi air jatuh (H) = 5 m, masa jenis air  $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup>, dan gravitasi bumi  $g = 9,81$  m/det<sup>2</sup> adalah:

$$P_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$P_a = (1000 \text{ kg/m}^3)(9,81 \text{ m/det}^2)(0,256 \text{ m}^3/\text{det})(5 \text{ m})$$

$$P_a = 12.544 \text{ Watt}$$

$$= 12,544 \text{ kW}$$

Berdasarkan  $Q_a = 0,256$  m<sup>3</sup>/dt dan  $H_d = 5$  meter, dari gambar 2 maka jenis turbin yang sesuai adalah **Turbin Crossflow**.

Jika efisiensi turbin 70 %, maka daya output turbin (P<sub>tout</sub>) adalah:

$$P_{\text{tout}} = (12,544 \text{ kW})(70 \%) = 8,78 \text{ kW}$$

**Ttabel 2. Data hasil pengukuran waktu tempuh (t) obyek sejauh s = 2m**

Waktu		Pengambilan Data (S = 2 m, L = 0,8 m, T = 0,25 m)																			
		Juni				Juli				Agustus				September				Oktober			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
t (dt)	Pengambilan Data	1,2	1,1	1	1,2	1,3	1,1	1,3	1,12	1,19	1,13	1,3	1,11	1,2	1	1,1	1,3	1,4	1,42	1,45	1,44
		1,24	1,22	1,2	1,3	1,2	1,23	1,22	1,21	1,24	1,18	1	1,13	1,2	1,23	1,2	1,32	1,3	1,43	1,43	1,43
		1,2	1,21	1,3	1,22	1,2	1,21	1,32	1,22	1,22	1,1	1,13	1,21	1,21	1,22	1,3	1,28	1,5	1,42	1,43	1,42
Rata-rata		1,199				1,219				1,162				1,213				1,423			

**Tabel 3. Data perhitungan kecepatan aliran air**

Perhitungan Kecepatan Aliran V (m/s). [ V = S/t] dengan S = 2 m																			
Juni				Juli				Agustus				September				Oktober			
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1,67	1,82	2,00	1,67	1,54	1,82	1,54	1,79	1,68	1,77	1,54	1,80	1,67	2,00	1,82	1,54	1,43	1,41	1,38	1,39
1,61	1,64	1,67	1,54	1,67	1,63	1,64	1,65	1,61	1,69	2,00	1,77	1,67	1,63	1,67	1,52	1,54	1,40	1,40	1,40
1,67	1,65	1,54	1,64	1,67	1,65	1,52	1,64	1,64	1,82	1,77	1,65	1,65	1,64	1,54	1,56	1,33	1,41	1,40	1,41
1,68				1,64				1,73				1,66				1,41			

**Tabel 4. Data hasil perhitungan debit aliran**

Perhitungan Debit Aliran Q (m <sup>3</sup> /s). [Q = VA] dengan A = 0,2 m <sup>2</sup> )																			
Juni				Juli				Agustus				September				Oktober			
I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0,33	0,36	0,40	0,33	0,31	0,36	0,31	0,36	0,34	0,35	0,31	0,36	0,33	0,40	0,36	0,31	0,29	0,28	0,28	0,28
0,32	0,33	0,33	0,31	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,34	0,40	0,35	0,33	0,33	0,33	0,30	0,31	0,28	0,28	0,28
0,33	0,33	0,31	0,33	0,33	0,33	0,30	0,33	0,33	0,36	0,35	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,27	0,28	0,28	0,28
0,34				0,33				0,35				0,33				0,28			
Rata-Rata Debit Aliran Q = 0,32 m <sup>3</sup> /s																			

Jika efisiensi transmisi adalah 95% dan efisiensi generator 92 %, maka daya output turbin (P<sub>g out</sub>) adalah:

$$P_{g\ out} = (8,78\ kW)(95\ \%)(92\ \%) = 7,674\ kW$$

Spesifikasi generator yang direkomendasikan adalah: Power: ≥ 15 kW (50% lebih besar dari daya bangkitan); Voltage: 380 - 415 Volt (3 phase); Frekuensi: 50 Hz (sesuai listrik PLN di Indonesia) ; Putaran: 1.500 rpm (4 kutub); Proteksi: IP 55 (proteksi terhadap air dan debu); Isolasi: Class F

Jika diasumsikan bahwa daya yang didistribusikan ke masyarakat adalah 80% dari daya **bangkitan** generator, maka daya yang didistribusikan (P<sub>dis</sub>) adalah 0,8 x 7,674 kw = 6,139 kW. Jika diasumsikan 1 KK membutuhkan daya 450 W, maka potensi jumlah keluarga yang bisa dipenuhi kebutuhan listriknya (NK) adalah:

$$NK = P_{dis}/450 = 6139/450 \approx 13\ KK$$

**Pembahasan**

Dari kajian awal yang dilakukan terlihat bahwa aliran sungai Kelampauk terutama pada lokasi yang diamati berpotensi dikembangkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

dengan daya bangkitan sekitar 7,674 kW. Daya ini mampu memenuhi kebutuhan listrik 13 KK jika keperluan per KK 450 Watt. Namun demikian diperlukan kajian lebih lanjut sebelum sampai pada suatu kesimpulan bahwa di lokasi tersebut layak dibangun PLTMH. Kajian yang dimaksud adalah kajian teknis, ekonomis dan sosiologis.

Kajian teknis lebih lanjut seperti survei yang lebih koperehenship tentang besarnya debit aliran sepanjang tahun. Hal ini diperlukan untuk dapat mendisain secara mendetail dimensi – deimensi pipa penstok dan sudu turbin sehingga ketika debit aliran mencapai minimum, turbin masih tetap bisa beroperasi. Kajian tentang struktur tanah juga sangat diperlukan untuk menjamin kekuatan bangunan reservoir dan rumah turbin yang hendak dibangun. Kajian ekonomis dimaksudkan untuk mengetahui apakah pembangunan PLTMH tersebut menguntungkan dari segi ekonomis. Perhitungan tentang total biaya investasi, break even point serta perhitungan ekonomis lainnya perlu dilakukan secara cermat. Dari segi sosial perlu juga dilakukan kajian untuk mengetahui respon masyarakat setempat. Pembangunan PLTMH kemungkinan mengakibatkan beberapa efek. Yang perlu diketahui untuk apa

pemanfaatan aliran sungai tersebut, sehingga ketika PLTMH dibangun apakah tidak mengurangi debit aliran untuk fungsi awal misalnya untuk kebutuhan mandi atau cuci atau misalnya untuk irigasi. Untuk itu sosialisasi yang berkesinambungan perlu dilakukan. Selain itu, model pengelolaan setelah misalnya PLTMH itu dibangun perlu juga dirumuskan, sehingga tidak menimbulkan masalah di kemudian hari.

Sebagai suatu kajian awal, potensi ini layak untuk dipertimbangkan. Selain sebagai suatu upaya mulai mengurangi energi yang bersumber dari fosil, PLTMH merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dengan sumber tenaga air yang tidak perlu dibeli dan mengalir sepanjang tahun.

## 5. Kesimpulan

1. Dari rentang survey selama 5 bulan, aliran sungai kelampauk memiliki debit aliran 0,32 m<sup>3</sup>/dt.
2. Debit aliran ini dengan Head 5 meter untuk lokasi yang diamati berpotensi menghasilkan listrik sebesar 7,674 kW.
3. Jenis turbin yang sesuai untuk kondisi di lokasi survey adalah jenis Turbin Crossflow dan Generator AC, 4 kutub, 380-415 volt 3 phase, frekuensi 50 Hz dan power  $\geq$  15 kW.
4. Daya yang dihasilkan berpotensi untuk memenuhi kebutuhan listrik 13 KK dengan daya masing-masing 450 Watt.

## Daftar Pustaka

- [1] Dietzel F dan Sriyono D, 1990, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [2] Klunne W., 2001, *Micro Hydropower Basics*, URL: <http://www.microhydro.com>
- [3] Linsley, Ray, K, Joseph B.Franzini & Ir. Djoko Sasongko M.Sc, 1995, *Teknik Sumber Daya Air, Jilid 2*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [4] Maher P. and Smith N., 2001, *Pico Hydro For Village Power: A Practical Manual for Schemes up to 5 kW in Hilly Areas*.
- [5] Ketjoy P.L.N. and Rakwichian W., 2004, *Pico Hydro Power Generation Demonstration: Case Study of Stand Alone, Hybrid and Grid Connected System*.
- [6] Streeter V.L. and Wylie E.B., 1975, *Fluid Mechanics*, 6<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [7] Sularso dan Tahara H., 2000, *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*, cetakan ketujuh, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.