

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Head Rendah dan Portable

Budi Triyono^a, Haryadi^a dan Pajar Nurega^b

^aStaf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
E-mail : budi.triyono@polban.ac.id

^bMahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
E-mail : pajar.nurega@gmail.com

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) *Portabel* dengan berat yang dapat dibawa oleh satu orang diharapkan dapat memberikan kemudahan dalam upaya mendapatkan tenaga listrik disuatu tempat terpencil yang belum tersedia listrik untuk keperluan khusus seperti survei lapangan, penelitian lapangan atau rekreasi yang dapat digunakan untuk penerangan dan mengisi ulang baterai laptop atau alat komunikasi dengan memanfaatkan aliran air dengan instalasi yang cepat dan praktis tanpa konstruksi sipil sehingga dapat mengefektifkan waktu dan biaya. Melalui penelitian ini dilakukan rancang bangun PLTMH *Portabel* yang ringan dan dapat dipindahkan atau dibawa oleh satu orang serta dapat dioperasikan pada kondisi head rendah yaitu 2-3 meter. Turbin yang digunakan adalah turbin *propeller* jenis *open flume* dan generator yang digunakan adalah generator 12 VDC yang dilengkapi dengan *inverter* untuk mengonversi menjadi tegangan 220 VAC. Komponen rangka, rumah turbin, transmisi daya, dan instalasi perpipaan dipilih menggunakan bahan ringan yang dirancang secara optimal agar dapat meminimalkan bobot totalnya. Penelitian dilaksanakan dalam lima tahap kegiatan, yaitu tahap identifikasi kebutuhan, tahap perancangan, tahap pembuatan, tahap pengujian dan tahap analisa hasil pengujian. Hasil yang dicapai dari penelitian ini yaitu telah dapat dibuat prototipe PLTMH *portable* yang dapat menghasilkan daya keluaran 25 watt pada 800 rpm dengan berat keseluruhan sekitar 23 kg. Daya keluaran tersebut sudah dapat digunakan untuk menyalakan lampu, mengisi ulang baterai *handphone*, dan laptop.

Kata Kunci : Survei lapangan, listrik, aliran air, head rendah, PLTMH *portable*

1. PENDAHULUAN

Kondisi geografis Indonesia yang memiliki banyak sumber air mengandung potensi listrik yang sangat besar. Diperkirakan, potensi listrik yang berasal dari tenaga air saja bisa mencapai 75.000 megawatt (MW) atau 75 gigawatt (GW). Namun, potensi yang saat ini memungkinkan untuk dikembangkan baru mencapai 22.000 MW (Djoko Kirmanto, 2013). Dengan kondisi tersebut masih terdapat 53 gigawatt (GW) potensi listrik yang terabaikan atau belum bisa dikembangkan. Disisi lain Kementerian ESDM Jarman (2013) mengatakan rasio elektrifikasi tahun ini masih 79,3%. Artinya masih ada sekitar 21% masyarakat Indonesia belum mendapatkan listrik. Dari sekitar 21% masyarakat yang belum menikmati listrik tersebut, jumlahnya sekitar 14,7 juta KK. Dengan kondisi itu perlu adanya pengembangan pembangkit listrik mini dan mikrohidro untuk mengoptimalkan sumber energi air yang terdapat di Indonesia.

Kebutuhan penerangan untuk berbagai keperluan misalnya untuk melakukan studi atau survei lapangan di daerah yang belum ada listrik atau sekedar melakukan kegiatan wisata alam di daerah yang belum terjangkau PLN umumnya menggunakan genset yang kurang

efisien dari segi harga dan membutuhkan bahan bakar fosil. PLTMH merupakan sumber energi listrik yang terbarukan dan murah dari segi harga tetapi umumnya masih menggunakan konstruksi sipil yang permanen serta bobot yang berat sehingga tidak bisa digunakan untuk sumber penerangan yang sifatnya sementara atau dapat dipindahkan (*moveable*).

Penelitian yang dilakukan adalah pengembangan PLTMH *Portabel* dengan berat maksimum 20 kg sehingga dapat dibawa oleh satu orang dan diharapkan dapat memberikan kemudahan dalam upaya mendapatkan tenaga listrik disuatu tempat terpencil yang belum tersedia listrik untuk keperluan khusus seperti survei lapangan, penelitian lapangan atau rekreasi yang dapat digunakan untuk penerangan dan mengisi ulang baterai laptop atau alat komunikasi dengan memanfaatkan aliran air yang mempunyai head rendah dengan instalasi yang cepat dan praktis tanpa harus membutuhkan konstruksi bangunan sipil yang memakan waktu dan dana tambahan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Supriyono dkk (2008) melakukan analisa dan rancang bangun PLTMH *portable* pada saluran dengan beda tinggi sangat rendah (*ultra low head*) memanfaatkan

energi kinetik aliran sungai. Saluran air dengan *head* sangat rendah yaitu kurang dari 2 meter yang dikenal dengan saluran *ultra low head*, baik berupa saluran irigasi maupun sungai banyak terdapat disekitar lingkungan kita dan berpotensi untuk dikembangkan menjadi sumber pembangkit listrik. Turbin air *airfoil* menjadi salah satu turbin yang cocok untuk saluran *ultra low head*. Turbin dengan diameter 600 mm dan jumlah sudu 3 mampu membangkitkan daya 374,98 watt pada aliran air irigasi dengan kecepatan aliran permukaan 2,56 m/s dan debit 0.2329 m³/s. Turbin ini dapat dipasang pada sungai maupun saluran irigasi.

Yulianty Parinding (2011) telah membuat simulator sistem PLTMH menggunakan turbin *open flume* TC-60 kapasitas 100 watt. Beban konsumen yang digunakan adalah beban lampu 220 V maka standar yang digunakan oleh penulis mengacu pada ketentuan tegangan pelayanan yang diatur dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 1, 1995) tentang pelayanan ditetapkan maksimum +5% dan minimum 10%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara debit dan daya *output* dimana semakin besar debit maka daya generator akan semakin besar. Variasi debit antara 9,1 – 9,7l/detik, memiliki efisiensi sebesar 11,2% pada *head* maksimal simulator yaitu 1,98 meter. Simulator ini dapat dibebani dengan beban lampu dalam kondisi stabil sampai dengan 65 watt, namun simulator ini dapat bekerja dengan baik saat maksimal daya *output* 17 watt. Hal ini mengacu pada ketentuan variasi tegangan Perusahaan Listrik Negara (198 – 231 Volt).

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti: saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin, dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu.

Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.

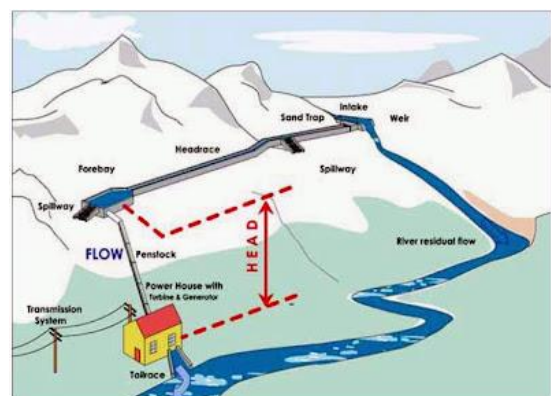
Mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2.5 meter dapat dihasilkan listrik 400 watt (Hendar, Unjang : 2007). Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan PLTA skala besar,

berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya area yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 200 KW digolongkan sebagai mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan (Indartono, Yuli Setyo : 2008).

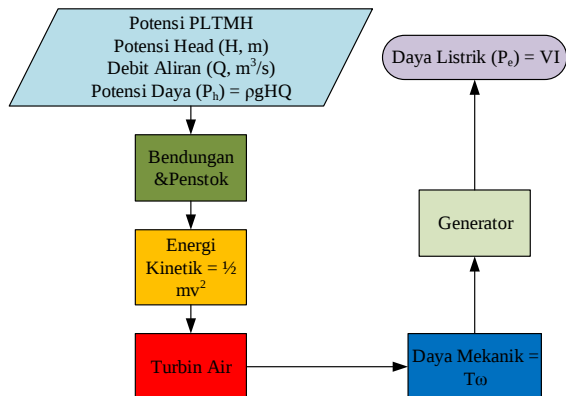
Beberapa keuntungan menurut Hendar dan Ujang (2007) yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah sebagai berikut :

1. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
2. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
3. Tidak menimbulkan pencemaran.
4. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
5. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Umumnya PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air jenis *Run off River* di mana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai ke salah satu sisi sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama pada suatu tempat dimana *head* yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan melalui pipa pesat, air diterjunkan untuk memutar turbin yang berada di dalam rumah pembangkit (lihat Gambar 2.1). Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.



Gambar 2.1 Instalasi pembangkit listrik tipe *run off river*



Gambar 2.2 Diagram alir perubahan energi pada instalasi PLTMH

Penghitungan potensi daya berdasarkan *head* netto dan debit andalan. Potensi daya air (hidrolik) dapat dinyatakan sebagai:

$$P_h = \rho \times g \times H \times Q \quad (1)$$

Potensi daya listrik yang dibangkitkan:

$$P_{el} = \rho \times g \times H \times Q \times \eta_{tot} \quad (2)$$

Dimana:

- P_h = Daya hidrolik yang tersedia (kW)
- P_{el} = Daya listrik keluar dari generator (kW)
- Q = Debit aliran air (m^3/s)
- H = Ketinggian air jatuh (*Head*) (m)
- η_{tot} = Efisiensi konversi dari tenaga hidrolik ke tenaga listrik

3. METODOLOGI PENELITIAN

Melalui penelitian ini akan dilakukan rancang bangun PLTMH *Portabel* yang ringan dan dapat dipindahkan atau dibawa oleh satu orang. Turbin yang digunakan adalah turbin *propeller* jenis *open flume* dan generator yang digunakan adalah generator 12 VDC yang dilengkapi dengan *inverter* untuk mengkonversi menjadi tegangan 220VAC. Komponen rangka, rumah turbin, transmisi daya, dan instalasi perpipaan dipilih menggunakan bahan ringan yang dirancang khusus secara optimal agar dapat meminimalkan bobot totalnya.

3.1 Perancangan Parameter Hidrolis

Dengan didasarkan pada daya elektrik yang direncanakan sebesar 100 W serta tinggi jatuh air (H) sebesar 1,5 m serta nilai-nilai yang diasumsikan yaitu efisiensi turbin sebesar 60% dan efisiensi generator sebesar 70%, maka :

Daya poros (mekanik) turbin :

$$P_E = P_M \times \eta_{generator}$$

$$P_M = \frac{P_E}{\eta_{generator}}$$

$$P_M = \frac{100 \text{ watt}}{0,7} = 142,9 \text{ watt}$$

Daya hidrolis :

$$P_{hidrolik} = \frac{P_M}{\eta_{turbin} \times \eta_{perpipaan} \times \eta_{mekanis}}$$

$$P_{hidrolik} = \frac{142,9 \text{ watt}}{0,6 \times 0,8 \times 0,75} = 396,9 \text{ watt}$$

Sehingga debit yang dibutuhkan:

$$P_{hidrolik} = \rho \times g \times H \times Q$$

$$Q = \frac{P_{hidrolik}}{H \times g \times \rho}$$

$$Q = \frac{396,9 \text{ watt}}{1,5 \text{ m} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1000 \frac{kg}{m^3}} = 0,027 \text{ m}^3/s$$

Maka diameter teoritis minimum pipa penyalur adalah :

$$Q = A \times v$$

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{Q}{\sqrt{2 \times g \times H}}$$

$$A = \frac{0,027 \text{ m}^3/s}{\sqrt{2 \times 9,81 \times 1,5 \frac{m^2}{s^2}}}$$

$$A = 1,296 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{1,297 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 4}{3,14}}$$

$$d = 0,0406 \text{ m}$$

$$d = 40,6 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan tersebut belum mempertimbangkan penurunan kecepatan akibat gesekan pada saluran dan faktor-faktor lainnya, sehingga pada penelitian ini digunakan saluran perpipaan dengan diameter yang lebih besar yaitu 60 mm.

3.2 Konsep Perancangan

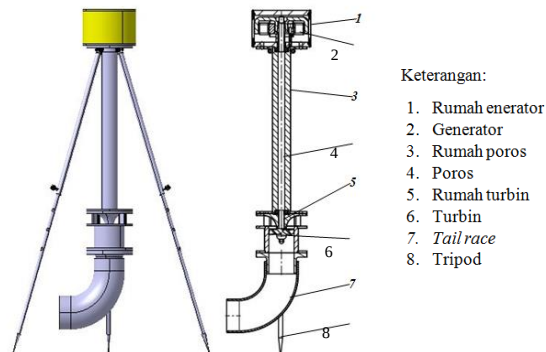
Dalam konsep perancangan PLTMH *portable* ini dibagi kedalam tiga bagian yaitu konstruksi turbin, sistem kelistrikan, dan instalasi PLTMH *portable*.

a. Kontruksi turbin

Konstruksi turbin ini terdiri dari turbin yang berfungsi untuk merubah energi fluida menjadi energi mekanik, rumah turbin untuk mengatur aliran fluida, poros berfungsi untuk meneruskan daya ke generator, rumah poros, dan rumah generator berfungsi sebagai rumah bantalan. Turbin ini akan terhubung dengan generator yang berada di dalam rumah generator melalui perantara poros. Jadi ketika turbin berputar, rotor pada generator

akan ikut berputar. Sebagai penyangga digunakan *tripod* yang dapat diatur ketinggiannya sehingga turbin dapat berdiri dengan tegak.

Konsep rancangan konstruksi turbin dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini

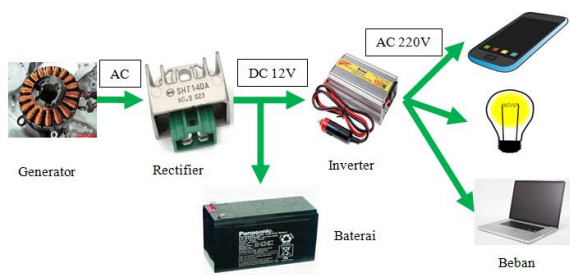


Gambar 3.1 Konsep rancangan konstruksi turbin

Material yang digunakan sebagian besar adalah alumunium karena memiliki berat yang ringan dan tahan karat, sisanya menggunakan material besi dan kuningan.

b. Sistem kelistrikan

Sistem kelistrikan ini berfungsi mengubah energi mekanis dari putaran turbin menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti menyalakan lampu, isi ulang baterai *handphone*, laptop, dll. Sistem kelistrikan ini terdiri dari beberapa alat dan komponen yang saling terhubung seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.



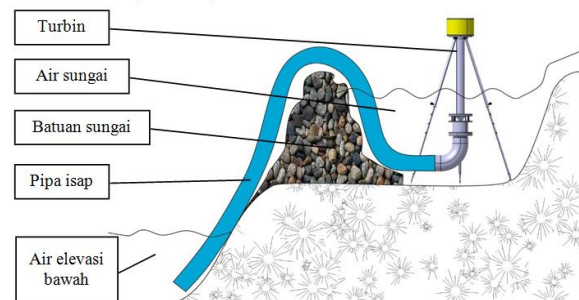
Gambar 3.2 Konsep sistem kelistrikan

Generator akan merubah energi mekanik menjadi energi listrik AC 15V. Listrik keluaran generator dirubah menjadi tegangan DC 12 V dengan menggunakan *rectifier* yang kemudian sebagian disimpan pada baterai dan sebagian diteruskan ke *inverter* untuk dirubah kembali menjadi tegangan AC 220V. Listrik AC 220V tersebut dapat digunakan untuk keperluan seperti

menyalakan lampu, mengisi ulang baterai *handphone*, dan laptop.

c. Instalasi PLTMH portable

Instalasi yang dimaksud disini adalah teknik pemasangan turbin ketika digunakan dilapangan. Instalasi ini membutuhkan selang dan kondisi aliran sungai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Sistem instalasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap-tahap kegiatan pengembangan PLTMH *head* rendah dan *portable* meliputi tahap perancangan, pembuatan komponen, perakitan dan pengujian.

4.1 Tahap Pembuatan Komponen dan Perakitan

Proses pembuatan komponen dilakukan dengan menggunakan mesin bubut, milling, bor, dan las aluminium. Material yang digunakan sebagian besar adalah alumunium karena memiliki berat yang ringan dan tahan karat, sisanya adalah besi dan kuningan sesuai dengan proses perancangan yang telah dibuat agar dapat tercapai target berat total yang diharapkan.



Gambar 4.1 Proses pembuatan rumah turbin

Setelah seluruh komponen dipersiapkan, maka proses selanjutnya adalah melakukan perakitan sesuai dengan konsep rancangan konstruksi turbin yang telah dibuat.



Tabel 4.1 Hasil pengujian

Head (m)	Tanpa Beban			Dengan Beban		
	rpm	V (Volt)	I (Ampere)	rpm	V (Volt)	I (Ampere)
3	1600	21	0	800	12.6	2

Gambar 4.2 Proses perakitan konstruksi turbin

4.2 Tahap Pengujian

Setelah proses perakitan selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah tahap pengujian. Tahap pengujian dilakukan di daerah curug cimahi kecamatan parongpong kabupaten bandung barat, dengan beberapa tahap berikut :



Gambar 4.3 Membawa turbin ke lokasi pengujian



Gambar 4.4 Menempatkan turbin ke sungai



Gambar 4.4 Proses Pemberian beban

4.3 Hasil Pengujian dan Pembahasan

Dari hasil percobaan lapangan diperoleh data pengukuran seperti diperlihatkan Tabel 4.1.

Dari hasil percobaan tersebut diketahui bahwa turbin dapat mencapai putaran 1600 rpm saat tanpa beban dan mencapai 800 rpm saat diberi beban dengan daya elektrik keluaran sebesar 25 watt. Daya tersebut sudah dibuktikan dapat digunakan untuk menyalakan lampu, mengisi ulang baterai *handphone* dan laptop. Meskipun demikian, data kinerja tersebut masih dibawah target penelitian yaitu 100 watt, dari evaluasi yang telah dilakukan hal ini diperkirakan disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :

- Bentuk geometris *runner* turbin yang ada tidak sesuai dengan kondisi pengujian di lapangan, sehingga perlu dilakukan perancangan ulang *runner*, baik bentuk maupun jumlah sudunya.
- Pemasangan *runner* turbin yang posisi terlalu atas atau terlalu dekat saluran masuk sehingga membuat arah aliran fluida yang mengalir pada turbin tidak *fully axial flow*, sehingga putaran dan torsi yang dihasilkan menjadi tidak maksimal karena turbin *propeller* merupakan jenis turbin yang dirancang beroperasi untuk aliran aksial.
- Adanya pengecilan pada sistem perpipaan khususnya pada bagian keluaran turbin karena flens yang tersedia dipasaran ukuran lubang nya lebih kecil dari diameter *runner*, hal ini mengakibatkan aliran air pada turbin menjadi terganggu sehingga laju alirannya menjadi berkurang.

Selain kinerja PLTMH yang masih dibawah target dan membutuhkan penyempurnaan, masih terdapat kendala pada saat pengoperasian alat yaitu saat awal pengoperasian yaitu sistem *starting* yang masih menggunakan cara manual dengan memasukkan air terlebih dahulu kedalam saluran selang untuk memancing aliran air yang dirasa menyulitkan dan kurang praktis. Untuk itu perlu dikembangkan sistem *starting* yang lebih praktis yaitu dengan membuat sistem kontrol otomatis yang dapat memanfaatkan generator sebagai motor saat awal pengoperasian untuk memutar turbin dan mengisap dan mendorong air kedalam sistem perpipaan dengan menggunakan sumber tenaga dari aki atau baterai. Setelah air mengalir secara mandiri maka generator yang awalnya difungsikan sebagai motor akan dikembalikan secara otomatis sebagaimana fungsinya sebagai pembangkit listrik.

Selang penghubung yang digunakan untuk menghubungkan turbin ke saluran keluaran juga masih terlalu berat sehingga berat total alat 23 kg dan masih lebih berat dari target yaitu dibawah 20 kg. Untuk itu perlu dilakukan optimasi dimensi komponen PLTMH dan mencari alternatif selang penghubung yang lebih ringan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil uji coba turbin dilapangan, pada kondisi tanpa beban turbin dapat berputar hingga 1600 rpm dan dapat menghasilkan daya elektrik 25 watt pada 800 rpm yang telah dapat digunakan untuk menyalakan lampu, mengisi baterai laptop atau *handphone*. Agar dapat tercapai daya sesuai target keluaran yaitu 100 watt maka perlu dilakukan langkah pengembangan lanjutan yaitu merancang ulang *runner* dan sistem perpipaannya. Selain itu perlu juga dikembangkan sistem penggerak awal (*starting*) untuk mempermudah pengoperasian. Berat total PLTMH *portable* yang telah dibuat adalah 23 kg sehingga masih perlu dilakukan optimasi rancangan agar target berat total dapat tercapai yaitu dibawah 20 kg

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada saudara Ganjar Yogaswara, Reza Kurniawan dan Ardhan Fauzi, mahasiswa program studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung, atas kontribusi dan bantuan yang diberikan pada penelitian dan penulisan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dakso Sriyono (Penterjemah), *Turbin Pompa dan Kompresor*, Jakarta: PT. Erlangga, 1980.
- [2] Dhany, Rista Rama, *68 Tahun RI Merdeka, 14,7 Juta Kepala Keluarga Belum Teraliri Listrik*, <http://www.detik.com>, 17 Oktober 2013.
- [3] Lagaligo, Abraham, *"Kondisi Listrik Indonesia Saat Ini Tidak Lebih Baik Dari 2009"*, <http://www.duniaenergi.com>. 17 Oktober 2013.
- [4] Luknanto, Djoko. *"Bangunan Tenaga Air". _____*. *"Regulasi Panas Bumi dan Kebijakan Investasi di Jawa Barat"*.
- [5] Parinding, Yulianty, *"Pembuatan dan Pengujian Simulator PLTMH Menggunakan Turbin Open Flume Kapasitas 100 WATT Sebagai Alat Peraga Pembelajaran dan Alat Bantu Penelitian"*, 2011.
- [6] Simpson, Robert., and Arthur Williams, *"Design of Propeller Turbines for Pico Hydro"*, 2011.
- [7] <http://www.asosiasihidrobandung.com>, 18 Oktober 2013.
- [8] [http://www.crayonpedia.org/mw/BAB 21 Klasifikasi Turbin Air Sunyoto](http://www.crayonpedia.org/mw/BAB_21_Klasifikasi_Turbin_Air_Sunyoto)