

UJI TERAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR SKALA *PICOHYDRO* DI KABUPATEN BANJARNEGARA

APPLIED STUDY OF PICOHYDRO POWER PLANT IN BANJARNEGARA REGENCY

Rachman Djamal dan Tri Risandewi
Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian dan Pengembangan Daerah
Provinsi Jawa Tengah
Jl. Pemuda No 127-133 Semarang
Email: rachman_djamal@yahoo.co.id
Diterima: 10 Oktober 2017, Direvisi: 17 Nopember 2017, Disetujui: 4 Desember 2017

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui teknis penerapan alat pembangkit listrik *picohydro* (pembuatan desain dan uji penerapan) di Desa Pandansari, Kecamatan Wanayasa, Kabupaten Banjarnegara. Hasil analisis teknis alat pembangkit listrik *picohydro* mampu menghasilkan daya listrik sebesar 7.200 watt atau 7,2 kilowatt. Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan debit air pada bulan Juli-Agustus 2017 ternyata debit air yang dibutuhkan untuk menjalankan generator pada alat pembangkit listrik *picohydro* tidak mencukupi (kurang dari 30 liter/detik) yang disebabkan karena pada bulan-bulan tersebut sudah memasuki musim kemarau di Kabupaten Banjarnegara dan juga karena sebagian debit air digunakan oleh kincir air Batubana untuk menaikkan air bersih ke penampung air/tandon milik masyarakat Desa Pandansari. Pada saat musim kemarau, debit air berkurang, alat pembangkit listrik *picohydro* dapat digunakan jika dioperasikan secara bergantian dengan kincir air atau diatur waktu penggunaan masing-masing, misalnya kincir air digunakan pada waktu pagi hari hingga sore hari, sedangkan pembangkit listrik *picohydro* digunakan pada saat sore hingga malam hari atau dini hari pada saat masyarakat membutuhkan listrik untuk keperluan sehari-hari mereka. Alternatif selanjutnya adalah menempatkan pembangkit *picohydro*/turbin air kedua dibawah turbin pertama yang memanfaatkan air buangan dari turbin pertama dengan beda ketinggian minimal 2 meter atau lebih. Jika saat musim penghujan, terjadi aliran air yang sangat deras dari atas maka luapan air tersebut dapat disalurkan/dibuang ke bawah melalui saluran luapan sehingga kinerja alat pembangkit *picohydro* tidak terganggu.

Kata Kunci : *picohydro*, energi listrik, sumber energi terbarukan

ABSTRACT

This study aims to determine the technical application of picohydro power plant (making design and application test) in Pandansari Village, Wanayasa District, Banjarnegara Regency. The result of technical analysis of picohydro power plant is capable of producing 7.200 watt or 7,2 kilowatts of electric power. Based on the observation and calculation of water discharge in July-August 2017, the water debit required to run the generator on picohydro power plant is insufficient (less than 30 liters / sec) due to the months already entering the dry season in Banjarnegara Regency and also because some of the water debit is used by waterwheel to increase water supply to the

water container / reservoir belonging to the people of Pandansari Village. During the dry season, the picohydro power plant can be used when operated alternately with a water mill or set the time of use for each water mill used in the morning until late afternoon, while the picohydro power plant is used during the afternoon until night or early morning when people need electricity for their daily needs. The next alternative is to place a second picohydro / turbine generator under the first turbine utilizing waste water from the first turbine with a height difference of at least 2 meters or more. If during the rainy season, there is a very heavy flow of water from above then the overflow can be disbursed / dumped down through the overflow channel so that the performance of the picohydro generator is not disturbed.

Keywords: picohydro, electrical energy, renewable energy source

PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan penting bagi manusia, khususnya energi listrik. Konsumsi energi listrik terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi manusia di Indonesia. Kebutuhan energi masyarakat di Indonesia terus mengalami peningkatan dan sebagian besar konsumsi energi ini diperoleh dari energi fosil yang tidak dapat diperbaharui. Rata-rata pertumbuhan konsumsi energi tahunan selama periode 2000-2014 adalah 3,99% per tahun dari 555,88 juta Setara Barel Minyak (SBM) pada tahun 2000 menjadi 961,39 juta SBM pada tahun 2014. Data tersebut diperoleh dari *Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia* (HEESI) tahun 2015 yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Apabila kebutuhan energi terus meningkat sedangkan suplai energi tidak mencukupi maka akan timbul permasalahan kelangkaan energi, terutama energi fosil. Purnomo, N.A., (2011) menyebutkan bahwa bahan bakar fosil terbentuk dari sisa-sisa organik tanaman dan hewan, yang mati ribuan tahun lalu dan tetap terkubur dalam pasir dan lumpur, merupakan sumber daya yang terbatas serta menyebabkan polusi udara, air dan tanah. Bahan bakar fosil juga menghasilkan gas rumah kaca yang berkontribusi

terhadap pemanasan global atau *global warming*.

Untuk mengatasi kelangkaan energi, diperlukan pengembangan energi terbarukan. Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alami seperti matahari, angin, dan air dan dapat dihasilkan berulang kali karena dapat diperbaharui (Permana, A.D, 2011). Kelebihan energi terbarukan ini menurut Elizabeth, G. (2011) adalah: (1) Banyak terdapat di alam; (2) Dapat dilestarikan atau diperbaharui; (3) Ramah lingkungan (rendah polusi); (4) Tidak memerlukan perawatan yang banyak dibandingkan dengan sumber-sumber energi fosil dan mengurangi biaya operasi; (5) Membantu mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja; (6) Beberapa teknologi mudah digunakan di tempat-tempat terpencil dan distribusi energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak tersentralisir. Selanjutnya dijelaskan, kelemahan energi terbarukan yaitu: (1) Biaya awal dalam mengembangkan energi alternatif relatif sangat besar; (2) Pasokan sebagian besar energi terbarukan tergan-tung kepada kondisi cuaca. Saat ini, energi konvensional menghasilkan lebih banyak volume yang bisa digunakan dibandingkan dengan energi terbarukan; (3) Energi tambahan yang dihasilkan dari proses memproduksi energi terbarukan harus disimpan, semen-

tara infrastruktur penunjang belum lengkap agar bisa dengan segera menggunakan energi yang belum terpakai tersebut; (4) Pengembangan teknologi energi terbarukan masih belum berkembang.

Berdasarkan Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, energi alternatif disebutkan sebagai semua jenis energi primer yang bukan berasal dari minyak bumi. Aturan tersebut mencantumkan energi baru, yaitu bentuk energi yang dihasilkan teknologi baru, baik yang berasal dan energi terbarukan maupun energi tak terbarukan, antara lain hidrogen, *coal bed methane*, batubara yang dicairkan (*liquefied coal*), batubara yang digaskan (*gassified coal*), dan energi nuklir.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengacu pada Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang berisi strategi untuk menjamin keamanan energi di Indonesia. Kebijakan ini telah merumuskan bauran energi di tahun 2025 untuk mengurangi konsumsi energi fosil dan menggantinya dengan energi baru terbarukan. Kebijakan lainnya yaitu Undang-Undang No. 30 Tahun 2007

tentang Energi yang mengarah terwujudnya kemandirian energi, PP No.70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, UU No 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan yang didalamnya juga telah mendorong pengembangan sumber energi terbarukan sebagai penghasil listrik serta *Blue Print* Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025. Kebijakan pengembangan energi terbarukan dilaksanakan melalui : 1) konservasi energi, 2) diversifikasi energi, 3) intensifikasi energi.

Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan diperlukan untuk mengurangi tingginya konsumsi masyarakat sehingga bisa mewujudkan kedaulatan energi di Indonesia. Hal tersebut sejalan dengan Program Nawacita Presiden Joko Widodo yaitu mewujudkan kemandirian ekonomi dengan menggerakkan sektor-sektor strategis ekonomi domestik dengan membangun kedaulatan pangan dan energi. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan baik yang berasal dari matahari, air, angin, panas bumi, nuklir (uranium), biomassa maupun samudra. Berikut data potensi dan pemanfaatan energi baru terbarukan di Indonesia pada tahun 2016.

Tabel 1
Potensi dan Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan di Indonesia Tahun 2016

| NO | ENERGI TERBARUKAN | SUMBER DAYA (SD) | KAPASITAS TERPASANG (KT) | RASIO KT/SD (%) |
|----|-------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 = 4/3 |
| 1 | Tenaga Air | 75.000 MW | 2.272 MW | 11 % |
| 2 | Tenaga Surya | 4,80 kWh/m ² /day | 42,78 MW | - |
| 3 | Tenaga Angin | 3 - 11 m/s | 1,88 MW | - |
| 4 | Uranium | 3.000 MW ⁷ | 30 MW ^{**} | - |
| 5 | Panas Bumi | 29.038 MW | 1.226 MW | 4,2 % |
| 6 | Biomass | 49.810 MW | 1.618,40 MW | 3,25 % |
| 7 | Samudera | 49 GW ^{***} | 0,01 MW ^{****} | 0% |

Sumber: *Handbook of Energy and Economic of Indonesia*, Pusdatin Dirjen EBT dan Konservasi Energi 2016 (disampaikan pada Rakor Energi di Balitbang Prov. Jateng)

Berdasarkan data tersebut, potensi energi terbarukan yang terbesar adalah samudra dan air. Rasio kapasitas terpasang terhadap jumlah sumberdaya khususnya untuk tenaga air baru mencapai 11 %, sedangkan untuk tenaga surya, angin, dan nuklir belum ada data. Berarti masih ada potensi energi terbarukan yang belum dikelola secara optimal di Indonesia.

Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi dan UU No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan serta Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan energi Nasional, bahwa penyediaan energi baru dan energi baru terbarukan wajib ditingkatkan oleh Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya. Isu strategis bidang energi yang terjadi di Provinsi Jawa Tengah yaitu masih perlunya peningkatan Rasio Elektrifikasi, pembangunan pembangkit terkendala pembebasan lahan dan pembangunan jaringan listrik terkendala kawasan hutan, belum efisiennya konservasi energi listrik, dan perlunya pengembangan energi dari potensi energi baru terbarukan. Terkait dengan peningkatan elektrifikasi, sekitar 784.835 Kepala Keluarga (KK) belum terjangkau jaringan listrik di Provinsi Jawa Tengah.

Peningkatan rasio elektrifikasi bagi rumah tangga yang belum teraliri listrik bisa dilakukan dengan mengoptimalkan penggunaan potensi Energi Baru Terbarukan (EBT). Potensi EBT di Jawa Tengah sangat banyak seperti matahari, air, panas bumi, *bio-fuel*, gas rawa, bio massa, gelombang dan arus laut. Menurut data Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Jawa Tengah, potensi energi air untuk pembangkit listrik dengan total kapasitas $\pm 386,32$ MW berada di Kabupaten Cilacap, Banyumas, Purbalingga, Banjarnegara, Brebes, Tegal, Pemalang, Pekalongan, Batang, Kendal, Kebumen, Purworejo, Wonosobo,

Temanggung, Magelang, Klaten, Boyolali, Karanganyar, Wonogiri, Kabupaten Semarang dan Kota Semarang.

Pembangkit listrik tenaga air memberikan banyak keuntungan bagi masyarakat terutama bagi masyarakat yang belum teraliri listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN) namun mempunyai sumber air (sungai, mata air, air terjun, dll) dengan debit yang cukup besar yaitu merupakan sumber energi yang murah, ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi bagi lingkungan, dan merupakan energi yang dapat diperbaharui serta tidak membutuhkan bahan bakar. Diharapkan dengan memanfaatkan potensi sumber daya air tersebut, masyarakat dapat memenuhi kebutuhannya sendiri dan mengantisipasi kenaikan harga listrik dan masalah penyediaan listrik yang belum optimal.

Pembangkit tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Menurut Kamiana (2011), daya (power) yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$P = .Q.h.g,$$

dimana:

P= daya keluaran secara teoritis (watt),

= massa jenis fluida (kg/m^3),

Q=debit air (m^3/s),

h= ketinggian efektif (m),

g=gaya gravitasi (m/s^2).

Turbin merupakan perangkat utama penghasil listrik. Turbin pada proses pembangkitan listrik ini berputar karena adanya pengaruh energi potensial air yang mengalir dari pipa pesat dan mengenai sudu-sudu turbin. Berputarnya turbin kemudian akan mengakibatkan generator juga berputar sehingga generator dapat menghasilkan listrik sebagai keluarannya (Nugraha, 2012).

Ditinjau dari cara turbin air merubah energi potensial aliran menjadi energi putar atau aksi air terhadap sudu jalan turbin, dapat digolongkan dalam dua kategori yaitu: Turbin impuls dan Turbin reaksi. Turbin impuls adalah turbin dimana proses penurunan tekanan dari air hanya terjadi pada sudu pengarahnya saja dan pengisian air pada roda turbin dilakukan pada sebagian dari keliling roda turbin. Sehingga turbin impuls juga disebut turbin pengisian sebagian (partial admission turbine) atau disebut juga turbin aksi (action turbine). Beberapa jenis turbin impuls yaitu: Turbin Pelton, Kincir Air, Turbin Ossberger (cross flow turbine), dan Turbin Turgo. Sedangkan pada turbin reaksi proses penurunan tekanan air terjadi pada sudu-sudu pengarah maupun pada sudu-sudu jalannya. Pada turbin ini pemasukan/pengisian air terhadap roda turbin dilakukan pada sekeliling penuh dari roda turbin tersebut. Sehingga turbin jenis ini juga disebut turbin pengisian penuh (full admission turbine). Jenis turbin reaksi meliputi: Turbin Francis, Turbin Kaplan, dan Turbin Propeler.

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan (karakteristik) dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin (Dixon, S. L, 1998), yaitu :

1. Faktor tinggi jatuhnya air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada *head* tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada *head* rendah.
2. Faktor daya (Power) yang diinginkan

berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia.

3. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem trans-misi *direct couple* antara generator dengan turbin pada *head* rendah, sebuah turbin reaksi (propeller) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan *crossflow* berputar sangat lambat (low speed) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi.

Pada tahun 2016, Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Jawa Tengah telah mengembangkan inovasi kincir air Batubana yang dapat menaikkan air dari sungai ke lahan pertanian yang berada di atas sungai sehingga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air untuk pertanian. Terkait dengan isu strategis bidang energi terutama energi baru terbarukan di Jawa Tengah, Bappeda Provinsi Jateng pada tahun 2017 ini melaksanakan kegiatan penelitian dan kaji terap pemanfaatan sumberdaya air dengan teknologi kincir air batubana yang ditambahi pembangkit listrik dengan teknologi *picohydro*. Tujuan pemanfaatan teknologi kincir air Batugana adalah untuk menaikkan massa air dari bawah ke daerah yang lebih tinggi untuk keperluan rumah tangga dan usahatani, kemudian teknologi pembangkit listrik tenaga air *picohydro* ditujukan untuk memenuhi kebutuhan listrik terutama untuk fasilitas umum perdesaan (penerangan jalan dan pusat belajar masyarakat) di Kabupaten Banjarnegara.

Dasar pemilihan lokasi penelitian di Kabupaten Banjarnegara khususnya di Desa Pandansari, Kecamatan Wanayasa karena di desa tersebut sudah ada kincir air Batubana dan terdapat mata air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik *picohydro*. Selama ini mata air tersebut hanya dimanfaatkan

untuk keperluan rumah tangga dan air minum serta sumber air bagi lahan pertanian. Sumber air bersih yang ada di Desa Pandansari sebanyak 15 unit yang dimanfaatkan oleh 935 KK (Data Profil Desa Pandansari, Kecamatan Wanayasa, Kabupaten Banjarnegara).

Adapun tujuan diadakannya penelitian ini yaitu melakukan uji terap alat pembangkit listrik *picohydro* yang dimulai dari desain alat hingga penerapannya di Desa Pandansari, Kecamatan Wanayasa, Kabupaten Banjarnegara.

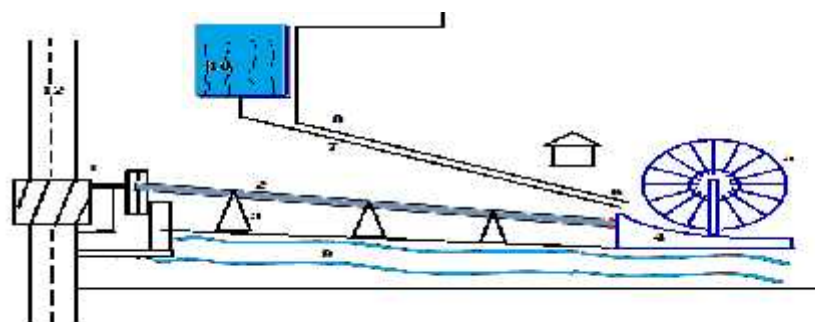
METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini ialah penelitian terapan (Applied Research), merupakan penelitian yang menekankan pada pemecahan masalah-masalah praktis. Penelitian ini diarahkan untuk menjawab pertanyaan spesifik dalam rangka perumusan kebijakan, tindakan (action) atau pencapaian target tertentu (Indrianto, 1999). Penelitian ini dimulai dengan membuat desain alat pembangkit listrik tenaga *picohydro* dan uji penerapannya di

Desa Pandansari, Kabupaten Banjarnegara serta menganalisisnya dari segi teknis.

Kegiatan difokuskan pada pemanfaatan kincir air Batubana sebagai pembangkit listrik tenaga *picohydro* dengan memanfaatkan mata air di sekitar Desa Pandansari, Kabupaten Banjarnegara. Dasar pemilihan lokasi penelitian dan kaji terap pembangkit listrik tenaga *picohydro* di Desa Pandansari, Kecamatan Wanayasa, Kabupaten Banjarnegara karena terdapat mata air dengan debit 30 liter/detik dan kincir air batubana yang hanya dimanfaatkan untuk mengangkat air guna keperluan pertanian dan rumah tangga tetapi belum dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga *picohydro*, padahal tingkat partisipasi masyarakat tinggi.

Bahan yang akan digunakan pada kegiatan penelitian dan kaji terap ini terdiri dari 1) sumber energi: air, *head* air: 4 meter, 2) turbin/kincir air dengan diameter 2 meter, 3) generator 1000 watt, 4) pipa penstok 24 meter dengan diameter 6 inci, 5) pompa sc 45, 6) tavol 1000 watt, dan 7) reduksi poli 50-4-40-3-60-3.



- Keterangan Gambar:
1. Bendung Penenang
 2. Penstok
 3. Sapot
 4. Tempat Kincir
 5. Kincir Air
 6. Tempat Generator
 7. Pipa Input
 8. Rumah Generator
 9. Sungai/mata air
 10. Tempat Kontrol
 12. Bronjong Batu

Gambar 1
Skema Kincir Air

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu melalui penelitian dokumentasi dan penelitian lapangan. Penelitian dokumentasi/studi literatur dilakukan untuk mencari sumber-sumber tertulis yang dapat dijadikan landasan teori guna memperkuat analisis yang membahas

mengenai pembangkit listrik tenaga air skala *picohydro*. Penelitian lapangan dimaksudkan untuk mendapatkan data-data secara langsung dari obyek penelitian yaitu melalui pengamatan langsung dan wawancara.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode gabungan yaitu analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif menggunakan model interaktif yang dikembangkan oleh Miles dan Huberman (1992), dimana proses pengumpulan, pengolahan dan penyajian data secara simultan untuk menghasilkan kesimpulan yang saling terkait (Husaini dan Purnomo, 2008). Adapun analisis kuantitatif digunakan untuk uji kelayakan teknis dan ekonomis sehingga dapat menjawab tujuan penelitian ini. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Februari sampai Oktober 2017.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Lokasi Penelitian

Desa Pandansari merupakan salah-satu desa di Kecamatan Wanayasa, Kabupaten Banjarnegara yang terdiri dari 5 dusun, 5 Rukun Warga (RW) dan 19 Rukun Tetangga (RT). Batas wilayah Desa Pandansari di sebelah utara adalah Desa Pagergunung, sebelah selatan Desa Karangtengah, disebelah timur dibatasi oleh Desa Karekan dan Kali Mrawu, dan di sebelah barat Desa Kubang. Jumlah penduduk Desa Pandansari pada tahun 2016 sebanyak 3.528 orang atau 640 Kepala Keluarga (KK) dengan tingkat kepadatan penduduk $723/\text{km}^2$. Sedangkan luas wilayah Desa Pandansari mencapai 115.936,07 hektar. Tingkat pendidikan penduduk Desa Pandansari sebagian besar hanya lulusan Sekolah Dasar (SD) sebanyak 1.274 orang, lulusan Sekolah Menengah Pertama (SMP) 259 orang, lulusan Sekolah Menengah Atas (SMA) 183 orang dan lulusan perguruan tinggi hanya 30 orang. Sedangkan yang tidak bersekolah sebanyak 578 orang dan tidak lulus SD sebanyak 904 orang (Monografi Kecamatan Wanayasa Tahun 2015, Biro Pusat Statistik/ BPS Kabupaten Banjarnegara).

Komoditas utama pertanian di Desa Pandansari adalah padi, jagung, salak pondoh, bawang, coklat, duku, durian, manggis dan sayur mayur. Luas lahan yang digunakan untuk menanam padi mencapai 332 hektar dengan tingkat produksi sebanyak 14.498 kuintal (Kecamatan Wanayasa Dalam Angka Tahun 2017).

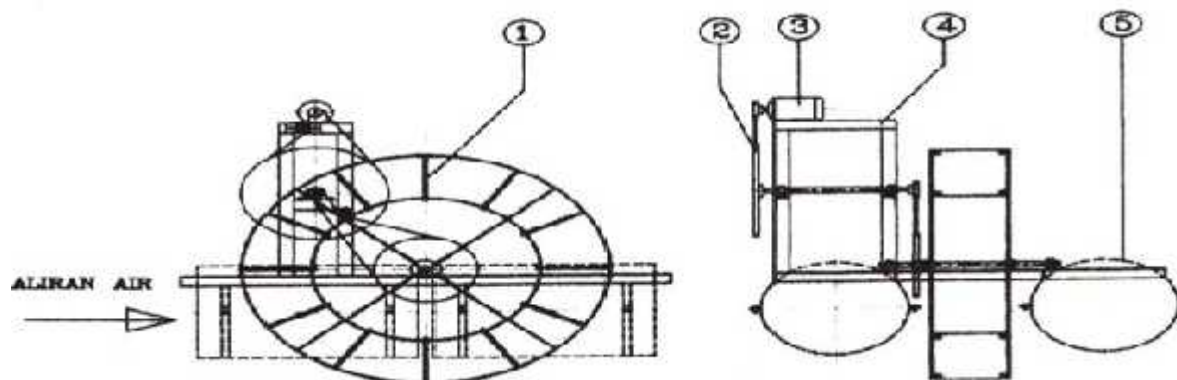
Mata air Kabupaten Banjarnegara apabila dilihat dari segi hidrologi memiliki potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan untuk kebutuhan rumah tangga, irigasi, industri dan lainnya yang bersumber dari Sungai Serayu, Pekacangan, Tulis, Merawu, Sapi dan sungai kecil lainnya. Potensi sumberdaya air yang ada di Kecamatan Wanayasa sebagian besar adalah sungai diantaranya Sungai Panaraban, Gondang, Sibebe, Merawu, dan Sigembol. Potensi air dan sumberdaya air yang ada di Desa Pandansari adalah sungai (sedang) dan mata air (kecil) serta sumber lainnya. Mata air tersebut dimanfaatkan oleh penduduk Desa Pandansari sebagai sumber air bersih untuk keperluan memasak dan minum. Walaupun debitnya kecil namun mata air tersebut sudah dimanfaatkan oleh 935 KK setiap harinya. Jika dilihat dari sumber pengairan untuk lahan sawah dengan irigasi desa seluas 137,46 hektar dan sawah tadah hujan seluas 16,48 hektar di Desa Pandasari dengan curah hujan rata-rata di Kecamatan Wanayasa pada tahun 2016 mencapai 327,0833 mm.

Analisis Teknis

Pemilihan teknologi pada pembangunan pembangkit listrik *picohydro* terutama terletak pada pemilihan komponen utamanya yaitu turbin dan generator. Hal ini disebabkan daerah yang akan dipasang pembangkit listrik *picohydro* memiliki karakteristik yang spesifik yaitu di daerah pegunungan. Ada 2 jenis generator yaitu generator sinkron yang

bekerja pada kecepatan berubah-ubah. Guna menjaga agar kecepatan generator tetap maka digunakan a). *speed governor* elektronik yang dapat digunakan secara langsung dan tidak membutuhkan jaringan listrik lain sebagai penggerak awal. Alat ini sangat cocok digunakan di desa terpencil dengan sistem isolasi, b).

Generator induksi tidak memerlukan sistem pengaturan tegangan dan kecepatan. Namun demikian tidak dapat bekerja sendiri karena memerlukan suatu sistem jaringan listrik sebagai penggerak awal yang lebih cocok digunakan untuk daerah yang telah dilalui jaringan listrik PLN.



Gambar 2
Bagan Konstruksi Kincir Air

Keterangan:

1. Rotor turbin (kincir), 2. Puli transmisi, 3. Generator, 4. Frame, 5. Ponton (drum)

Potensi aliran air yang terdapat di lokasi penelitian didapatkan data bahwa potensi tinggi air jatuh (head) yang ada sebesar 4 meter dengan debit air mengalir sebesar 30 liter per detik. Berdasarkan data potensi yang ada maka dapat diperkirakan potensi daya air yang bisa terbangkitkan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_i = \rho g H Q \dots\dots\dots,$$

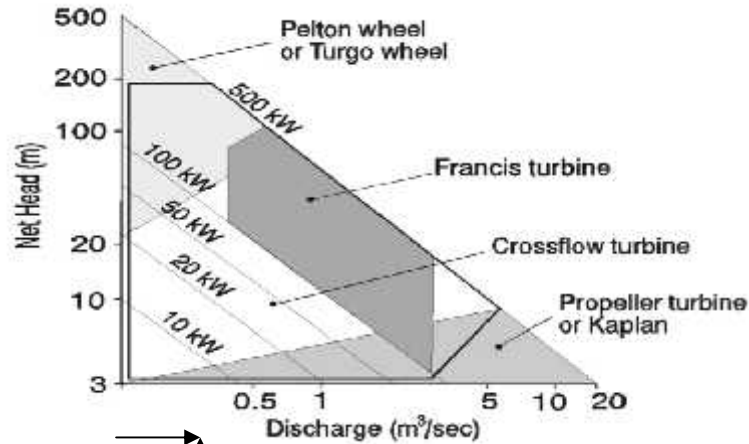
dimana :

$$Q = \text{debit air (m}^3/\text{s)}$$

$$= \text{massa jenis air (kg/m}^3\text{)}$$

$$H = \text{potensi tinggi air jatuh (m)}$$

Menurut persamaan di atas, maka perhitungan potensi daya air yang dihasilkan adalah sebesar 1.177,2 watt dengan mengasumsikan densitas air sebesar 1.000 kg/m³ dan percepatan gravitasi bumi sebesar 9,81 m/s² maka turbin yang tepat adalah turbin *cross flow* sesuai dengan karakteristik dan aplikasi turbin seperti gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3
Karakteristik dan Aplikasi Turbin (H vs Q)

Pemilihan turbin untuk digunakan sebagai pembangkit listrik ditentukan oleh ketinggian air dan besarnya potensi debit air/ arus air. Berdasarkan jenisnya ada 4 tipe turbin yaitu turbin Kaplan/*Propeller*, *Crossflow*, Francis, dan Pelton tergantung

ketinggian air dan arus debit air. Tabel di bawah ini klasifikasi turbin berdasarkan ketinggian (kurang dari 3 meter sampai dengan lebih dari 100 meter) dan besarnya tekanan air (head pressure).

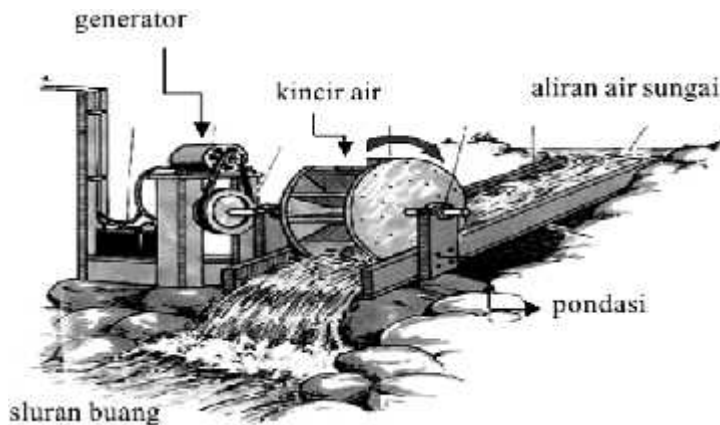
Tabel 2
Tipe dan Klasifikasi Turbin

Turbine type and head classification.

| Turbine | Runner type | Head pressure | Height |
|----------|------------------------------------|---------------|-------------|
| Reaction | Propeller, Kaplan | Ultra Low | Below 3 m |
| Reaction | Propeller, Kaplan | Low | Above 3 m |
| Impulse | Crossflow | Medium | Above 40 m |
| Reaction | Francis, Pump as Turbine | High | Above 100 m |
| Impulse | Crossflow, Turgo, Multi-jet Pelton | | |
| Impulse | Pilton, Turgo, Multi-jet Pelton | | |

Dari potensi daya berdasarkan potensi debit air dan *head* yang dimiliki maka perkiraan potensi daya listrik terbangkit dengan mengasumsikan efisiensi keseluruhan sebesar 0,85 diperkirakan sebesar 1.000,62 watt. Efisiensi keseluruhan yang dimaksudkan

disini meliputi efisiensi yang terkait dengan kebocoran hidrolis, efisiensi transmisi dan efisiensi generator yang digunakan. Gambar 4\ merupakan ilustrasi sistem pembangkit listrik tenaga air skala *picohydro* yang diterapkan dalam penelitian ini.



Gambar 4
Ilustrasi Sistem yang Dipilih

Satu hal yang perlu diperhatikan adalah perlunya penyesuaian antara kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin air (yang dihasilkan dari potensi air) dengan kecepatan putar dari generator yang digunakan, penyesuaian ini sangat diperlukan guna efisiensi daya yang dihasilkan oleh generator, oleh karena itu sangat diperlukan satu sistem transmisi kecepatan. Pilihan sistem transmisi kecepatan sangat bervariasi (misal: belt, roda gigi/gear, dll), tergantung dari beberapa faktor. Sistem transmisi roda gigi bertingkat merupakan salah satu pilihan yang dapat diperhatikan untuk sistem yang memerlukan reduksi kecepatan yang cukup tinggi, suasana kerja relatif tenang dan tingkat keausan transmisi yang cukup handal.

Pada turbin air *picohydro* di Desa Pandansari merupakan teknologi pemanfaatan energi air yang digunakan sebagai pompa untuk menaikkan air dari sumber mata air ke daerah permukiman warga yang berada lebih tinggi daripada sumber mata air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih sehari-hari. Pompa air tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| Dimensi | : 300 x 430 x 450 mm |
| Berat | : 23 kg |
| Kapasitas | : 22-59 Liter/menit |
| Daya yang dibutuhkan | : 5 – 7 HP (Horse Power) |
| Plunger | : 33.5 mm x 3 |
| Putaran | : 300 – 600 rpm |
| Tekanan maksimal | : 50 kg/cm ² |
| Tekanan operasional normal | : 20-30 kg/cm ² |



Gambar 5
Merk & Type Spesifikasi : Sanchin SCN 45

Berikut ini merupakan gambar turbin air atau kincir air yang ada di Desa Pandansari Kincir ini dapat digunakan untuk mengangkat air dari sumber mata air yang letaknya lebih rendah ke tempat

penampungan air/tandon milik masyarakat yang lebih tinggi. Adapun gambar dan spesifikasi kincir air tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 6
Kincir Air di Desa Pandansari

Diameter : 2 meter
Debit Nozzle : 30 Liter/detik
Ketinggian sumber air : 30 meter

Selain pompa dan turbin/kincir air, alat yang digunakan adalah generator.

Berikut ini gambar dan spesifikasi generator tersebut.

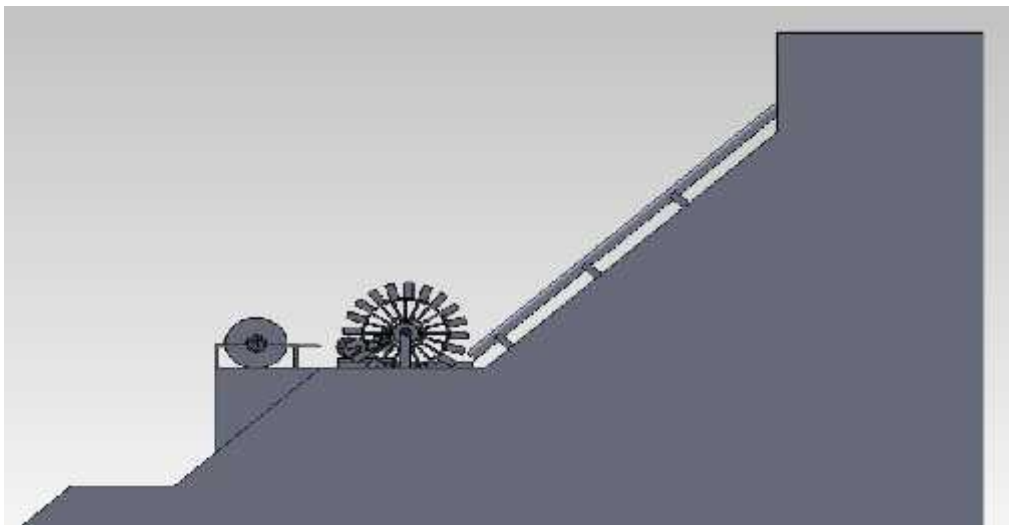


| | | | |
|-------------------------|----------------|------|-------|
| CE ISO9001:2000 | | | |
| SINGLE-PHASE ALTERNATOR | | | |
| TYPE TA1000 | COS Φ 1.0 | | 50 HZ |
| KW | V | A | RPM |
| 1.0 | 220 | 4.55 | 3000 |
| | | | 1P20 |

Gambar 7
Generator Listrik

Generator tersebut dapat bekerja optimal menghasilkan daya 1.000 watt jika bekerja pada putaran 3.000 rpm (*rotation per minute*/putaran per menit). Gambar 8 di bawah ini merupakan posisi

pemasangan pembangkit listrik *picohydro*. Pembangkit listrik *picohydro* ingin memanfaatkan air limpasan dari kincir air untuk menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik.



Gambar 8
Posisi Pemasangan Pembangkit Listrik *Picohydro* dan Kincir Air di Desa Pandansari

Pada persoalan yang terjadi di lapangan, terdapat kendala yaitu turbin tidak dapat digunakan untuk menggerakkan pompa dan generator secara bersamaan. Pemasangan turbin kedua yang paling efektif agar pompa dan turbin dapat bekerja secara efisien. Lokasi pemasangan turbin kedua direncanakan

berada di aliran air tadah hujan. Tapi jika musim hujan datang, dikhawatirkan akan mengganggu proses pembangkitan tenaga listrik. Dibawah ini merupakan gambar dari alat *pichydro* dan *belt* yang rencananya akan dipasangkan.



Picohydro



Belt

Gambar 9
Alat Picohydro dan *belt* yang belum dipasang

Pada tahap perencanaan, terdapat turbin air sebanyak dua unit yang akan dipasang secara bertingkat dan dihubungkan dengan belt. Pada turbin utama menerima energi potensial air dari ketinggian 30 meter dari bendung penenang. Turbin pertama digunakan untuk menggerakkan pompa air, sedangkan turbin kedua menerima air buangan dari turbin utama. Antara kedua turbin yang dihubungkan dengan belt yang diharapkan agar dapat meningkatkan performa dari turbin yang kedua. Namun pada prakteknya, pemasangan turbin kedua diposisikan sejajar dengan turbin pertama, dimana sumber air penggerak harus berbagi antara turbin pertama dan kedua. Hal tersebut hanya akan membuat kerja dari turbin pertama menjadi tidak maksimal karena energi potensial yang seharusnya digunakan untuk menggerakkan turbin pertama, debitnya harus terbagi dengan turbin kedua. Turbin air tidak bisa bekerja secara bersamaan dikarenakan sumber air yang seharusnya digunakan hanya untuk menggerakkan turbin pertama harus terbagi dengan turbin kedua.

Sehingga energi potensial yang ada masih tetap sama, namun beban yang tersedia semakin bertambah karena turbin kedua. Turbin air di Desa Pandansari memanfaatkan energi potensial air untuk diubah menjadi energi kinetik/energi gerak sehingga dapat dihasilkan energi listrik. Faktor yang paling berpengaruh dari besar kecilnya daya air adalah debit air (Q) dan ketinggian (h). Hal tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$E_p = mgh \text{ atau } P = \rho g Q h$$

dimana :

E_p = energi potensial air (joule)

P = Daya (watt)

m = massa air (kg)

h = *head*/ketinggian air (meter)

ρ = massa jenis air (kg/meter^3)

*merupakan konstanta, untuk air $\rho = 1.000 \text{ kg}/\text{meter}^3$

g = percepatan gravitasi ($\text{meter}/\text{detik}^2$)

*merupakan konstanta, $g = 10 \text{ meter}/\text{detik}^2$

Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa tersebut minimal sebesar 5 – 7 HP. Jika 1 HP sebesar 746 watt dengan asumsi daya optimal yang bekerja sebesar 7 HP. Maka, daya minimalnya sebesar **5.222 watt**. Sedangkan turbin utama mengubah energi potensial air dari ketinggian 30 meter dengan debit 30 liter/detik. Maka;

$$E_p = mgh \text{ atau } P = \rho g Q h$$

$$\rho = \text{massa jenis air} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{meter}^3}$$

$$g = \text{gravitasi} = 10 \frac{\text{meter}}{\text{s}^2}$$

$$Q = \text{debit air} = 30 \frac{\text{Liter}}{\text{detik}} = 0,03 \frac{\text{meter}^3}{\text{detik}}$$

$$h = \text{ketinggian sumber air} = 30 \text{ meter}$$

Jika menggunakan rumus tersebut di atas maka diperoleh besarnya energi potensial air yaitu sebesar 9.000 watt. Perhitungan di atas merupakan perhitungan dengan kondisi ideal, dimana rugi-rugi yang terjadi pada transmisinya tidak dihitung. Jika rugi-rugi yang terbuang diasumsikan sebesar 20% atau 0,2. Hitungan energi yang terbuang sebesar 20% dari energi potensial yang dihasilkan sebesar 9.000 watt yaitu sebesar 1.800 watt sesuai dengan perhitungan dibawah ini.

Perhitungan rugi-rugi secara teoritis:
 $0,2 \times 9.000 \text{ watt} = 1.800 \text{ watt}$
Maka, daya pada turbin yaitu sebesar: 9.000 watt – 1.800 watt =
7.200 watt

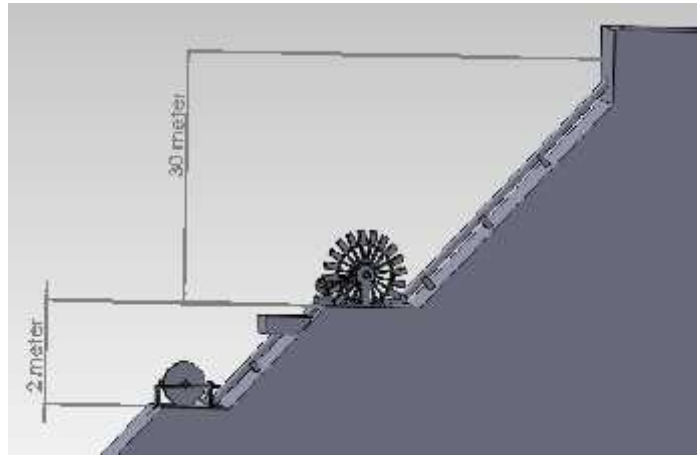
Nilai atau daya yang dihasilkan sebesar 7.200 watt pada turbin jika debitnya konstan 30 liter per detik. Jika musim kemarau yang menyebabkan debit air berkurang, maka daya yang dihasilkan

turbin tersebut pun akan berkurang. Dengan demikian, kondisi kerja turbin air untuk pompa tersebut memang sudah optimal.

Rencana Alternatif Pengembangan Pembangkit Listrik Skala *Picohydro*

Tim peneliti dan tim ahli dari UNS membuat rencana alternatif untuk pengembangan pembangkit listrik *picohydro* yang ada di Desa Pandansari. Perbedaannya terletak pada penempatan *picohydro* di bawah alat kincir air dengan jarak ± 2 meter. Rencana alternatif ini dilaksanakan jika turbin air tidak bisa bekerja secara bersamaan dikarenakan sumber air yang seharusnya digunakan hanya untuk menggerakkan turbin pertama harus terbagi dengan turbin kedua. Sehingga energi potensial yang ada masih tetap sama, namun beban yang tersedia semakin bertambah karena turbin kedua.

Selain pompa dan turbin/kincir air, alat yang digunakan adalah generator. Generator listrik yang digunakan sama dengan gambar 7 dan dengan spesifikasi yang sama. Generator tersebut dapat bekerja optimal menghasilkan daya 1.000 watt jika bekerja pada putaran 3.000 rpm (*rotation per minute*/putaran per menit). Gambar 10 di bawah ini merupakan posisi pemasangan pembangkit listrik *picohydro* yang diletakkan di bawah kincir air dengan jarak ± 2 meter. Pembangkit listrik *picohydro* ingin memanfaatkan air limpasan dari kincir air untuk menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Gambar berikut ini merupakan rencana posisi pemasangan pembangkit listrik *picohydro* dan kincir air di Desa Pandansari.



Gambar 10

Posisi Pemasangan Pembangkit Listrik *Picohydro* dan Kincir Air di Desa Pandansari (Alternatif Rencana)

Pada tahap perencanaan, terdapat turbin air sebanyak dua unit yang akan dipasang secara bertingkat dan dihubungkan dengan *belt*. Pada turbin utama menerima energi potensial air dari ketinggian 30 meter dari bendung penenang. Turbin pertama digunakan untuk menggerakkan pompa air, sedangkan turbin kedua menerima air buangan dari turbin utama. Beda ketinggian antara turbin utama dengan turbin bawah berjarak 2 meter. Antara kedua turbin yang dihubungkan dengan *belt* yang diharapkan agar dapat meningkatkan performa dari turbin yang kedua. Namun pada prakteknya, pemasangan turbin kedua diposisikan sejajar dengan turbin pertama, dimana sumber air penggerakannya harus berbagi antara turbin pertama dan kedua. Hal tersebut hanya akan membuat kerja dari turbin pertama menjadi tidak maksimal karena energi potensial yang seharusnya digunakan untuk menggerakkan turbin pertama, debitnya harus terbagi dengan turbin kedua. Turbin air tidak bisa bekerja secara bersamaan dikarenakan sumber air yang seharusnya digunakan hanya untuk menggerakkan turbin pertama harus terbagi dengan turbin kedua. Sehingga

energi potensial yang ada masih tetap sama, namun beban yang tersedia semakin bertambah karena turbin kedua.

Secara analisa dan perhitungan, permasalahan tersebut diatas dapat diuraikan sebagai berikut. Turbin kedua merupakan turbin air yang digunakan untuk mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Dengan menggunakan generator berdaya 1.000 watt pada putaran 3.000 rpm diharapkan akan menghasilkan energi listrik untuk penerangan. Jika turbin kedua dipasang sejajar dengan turbin pertama dan harus berbagi air dengan turbin pertama, maka hal tersebut hanya akan mengurangi kinerja pompa air. Hal tersebut sudah dijelaskan pada pembahasan pertama, dimana energi potensial yang diubah turbin untuk menggerakkan pompa air sudah optimal. Jika mendapat tambahan beban dari turbin kedua, maka kerja pompa tidak dapat digunakan untuk menaikkan air sampai ketinggian 150 meter. Sehingga dari analisa diatas, jika sistem masih diinginkan potensi air yang ada dimanfaatkan untuk pembangkitan tenaga listrik maka beberapa hal yang dapat dilakukan adalah menempatkan turbin air kedua dibawah turbin pertama,

dengan memanfaatkan air buangan dari turbin pertama. Pemasangan turbin air tersebut sebaiknya memiliki beda ketinggian minimal 2 meter atau lebih. Semakin besar beda ketinggian, semakin besar pula daya listrik yang dihasilkannya dengan rumusan sebagai berikut:

$$E_p = mgh \quad \text{atau} \quad P = \rho g Q h$$

$$\rho = \text{massa jenis air} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{meter}^3}$$

$$g = \text{gravitasi} = 10 \frac{\text{meter}}{\text{s}^2}$$

$$Q = \text{debit air} = 30 \frac{\text{Liter}}{\text{detik}} = 0,03 \frac{\text{meter}^3}{\text{detik}}$$

$$h = \text{ketinggian sumber air} = 2 \text{ meter}$$

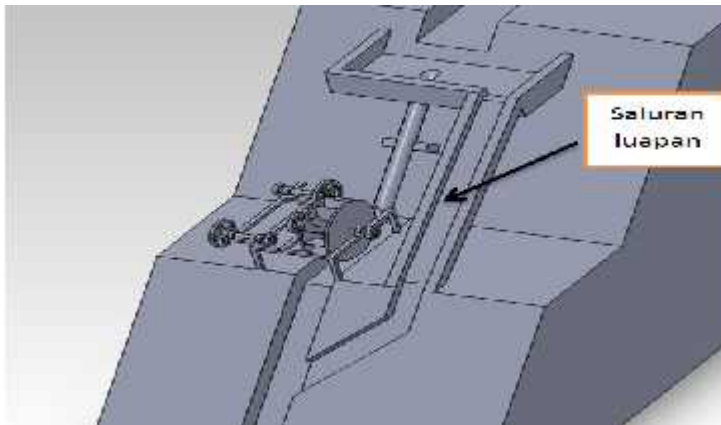
maka energi potensial airnya sebesar 600 watt. jika rugi-ruginya sebesar 20% atau 0,2, maka perhitungan rugi-rugi teoritisnya, $0,2 \times 600 \text{ watt} = 120 \text{ watt}$, daya pada turbin kedua $600 \text{ watt} - 120 \text{ watt} = 480 \text{ watt}$.

Nilai 480 watt didapat jika alat pembangkit picohydro/turbin kedua berputar secara mandiri dan tidak disambungkan dengan turbin pertama. Jika nilai daya pada turbin kedua sebesar 480 watt, maka putaran maksimal yang dihasilkan sebesar :

$$\frac{480 \text{ watt}}{1000 \text{ watt}} = \frac{x}{3000 \text{ rpm}}$$

didapat nilai putaran maksimalnya sebesar **1440 rpm**.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam sistem tersebut adalah air buangan dari turbin pertama tidak langsung dialirkan ke turbin kedua, namun diberi bendung penenang terlebih dahulu agar aliran airnya lebih stabil dan agar putaran turbin kedua saat hujan tidak terganggu dengan meningkatnya debit air. Maka sebaiknya diberi selokan buangan. Sehingga apabila bendung penenang tidak dapat menampung debit air. Air luapan tersebut dapat dialirkan ke lokasi lain, seperti terlihat pada gambar 11 berikut ini:



Gambar 11
Alternatif Saluran Air yang Digunakan

Pada gambar tersebut, pembangkit picohydro dipasang dibawah alat kincir air dengan jarak sekitar 2 meter. Jika saat musim penghujan, terjadi aliran air yang sangat deras dari atas maka luapan air tersebut dapat disalurkan/dibuang ke

bawah melalui saluran luapan sehingga kinerja alat pembangkit *picohydro* tidak terganggu.

SIMPULAN

Hasil analisis teknis alat pembangkit listrik *picohydro* mampu menghasilkan daya listrik sebesar 7.200 watt atau 7,2 kilowatt. Berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan debit air pada bulan Juli-Agustus 2017 ternyata debit air yang dibutuhkan untuk menjalankan generator pada alat pembangkit listrik *picohydro* tidak mencukupi (kurang dari 30 liter/detik) yang disebabkan karena pada bulan-bulan tersebut sudah memasuki musim kemarau di Kabupaten Banjarnegara dan juga karena sebagian debit air digunakan oleh kincir air batubana untuk menaikkan air bersih ke penampung air/tandon milik masyarakat Desa Pandansari.

SARAN

Pada saat musim kemarau/ debit air berkurang, alat pembangkit listrik *picohydro* dapat digunakan jika dioperasikan secara bergantian dengan kincir air atau diatur waktu penggunaan masing-masing misal kincir air digunakan pada waktu

pagi hari hingga sore hari, sedangkan pembangkit listrik *picohydro* digunakan pada saat sore hingga malam hari atau dini hari pada saat masyarakat membutuhkan listrik untuk keperluan sehari-hari mereka.

Alternatif selanjutnya adalah menempatkan pembangkit *picohydro*/ turbin air kedua dibawah turbin pertama yang memanfaatkan air buangan dari turbin pertama dengan beda ketinggian minimal 2 meter atau lebih. Jika saat musim penghujan, terjadi aliran air yang sangat deras dari atas maka luapan air tersebut dapat disalurkan/dibuang ke bawah melalui saluran luapan sehingga kinerja alat pembangkit *picohydro* tidak terganggu. Pemanfaatan alat kincir air dan pembangkit listrik *picohydro* jika dapat dimanfaatkan secara benar dan efisien dapat membantu masyarakat dalam hal pemenuhan kebutuhan listrik dan air bersih untuk air minum dan keperluan lainnya. Keberlanjutan pengembangan pembangkit listrik *picohydro* sangat tergantung pada peran masyarakat dalam pemanfaatan dan pemeliharannya.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS Kab. Banjarnegara. 2017. Kecamatan Wanayasa Dalam Angka Tahun 2017. Diakses di <http://banjarnegarakab.bps.go.id>
- Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2004. *Potensi energi Terbaharukan di Indonesia*, Jakarta.
- Dixon, S.L. 1998. *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbo machinery*. Fourth Edition in Wmetric Units. USA:Pergamon Press Ltd
- Elizabeth, G. 2011. *Energi Terbarukan Geothermal*. Fakultas Teknik Industri Universitas Gunadharma, Jakarta.
- Instruksi Presiden No. 1 tahun 2006 tertanggal 25 Januari 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (biofuels) sebagai energi alternatif, Jakarta.
- Kamiana, I.M.2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Miles, B. Mathew and michael Huberman. 1992. *Analisis Data Kualitatif Buku Sumber tentang Metode-Metode Baru*. Jakarta:UIP
- Nugraha, Ihfazh Nurdin Eka. 2012. *Penerapan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Pikohydro Dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung-Bandung*.
- Nur Indriantoro, Supomo. 1999. *Metodologi Penelitian Bisnis*.Yogyakarta: BPFE-UGM.
- Permana, A.D. 2011. *Outlook Energi Indonesia, Energi Masa Depan disekitar dan Ketenagalistrikan*. BPPT Press, Jakarta.
- Presiden Republik Indonesia, 2006, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional, Jakarta.
- Purnomo, N.A. 2011. *Dampak Bahan Fosil dan Biofuel serta Solusinya terhadap Lingkungan*. Badan Lingkungan Hidup Prov. Jateng, Semarang.
- Usman, Husnaini dan Purnomo Setiady Akbar. 2008. *Metodologi Penelitian Sosial*. Jakarta: PT Bumi Aksara.