

**PERILAKU HIDRAULIK PADA PENGEMBANGAN FUNGSI
BENDUNG GERAK SERAYU
SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR**

***THE HYDRAULICS BEHAVIORAL STUDY ON
THE DEVELOPMENT OF THE SERAYU BARRAGE
AS A HYDRO POWER PLANT***

Isnugroho

Peneliti Utama bidang Hidraulika dan Bangunan Air
Balai Sungai, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air
Pabelan Jl. Solo-Kartasura KM 7 Solo 57162
e-mail: isnugroho@ymail.com

Diterima: 13 Januari 2015 ; Disetujui: 10 Mei 2015

ABSTRAK

Bendung adalah bangunan persungai yang berfungsi untuk menaikkan elevasi muka air sungai agar dapat dialirkan ke saluran irigasi menuju ke sawah. Akibat dari peninggian muka air sungai tersebut akan didapat suatu terjunan. Pada musim hujan, debit aliran sungai jauh di atas kebutuhan irigasi. Kelebihan air tersebut dilimpaskan ke hilir, sedangkan pada musim kemarau, tidak semua debit aliran sungai dialihkan ke saluran irigasi, namun demikian harus disisakan suatu debit aliran tertentu dan dialirkan ke hilir bendung guna pemeliharaan alur sungai. Dengan demikian, hampir selalu ada debit aliran melewati bendung dan pada bendung terdapat perbedaan ketinggian antara hulu dan hilir. Fenomena ini dapat menghasilkan suatu tenaga yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air. Pengembangan fungsi ini akan menyebabkan perubahan perilaku hidraulik aliran sungai yang dapat mempengaruhi morfologi sungai maupun pelayanan irigasi, sehingga perlu dilakukan penelitian. Studi kasus dilakukan pada pemanfaatan bendung gerak Serayu di Jawa Tengah sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan 4 unit turbin yang dipasang di sebelah kanan bendung. Penelitian yang didukung dengan uji model hidraulik fisik ini bertujuan untuk mengetahui aspek pemanfaatan limpasan air sungai dan perilaku hidrolika, agar pengembangan fungsi ini tidak mengganggu fungsi utama bendung serta tidak membahayakan morfologi sungai.

Kata kunci: Aliran sungai, bendung, pembangkit listrik, tenaga air, perilaku hidrolika, uji model hidraulik

ABSTRACT

Weir is a river structure that serves to raise the river water level to be channeled into irrigation canals to the rice fields. As a result of raising the river water level will get a height difference between the upstream and downstream. In the rainy season, the river discharge is much more than the irrigation needs. Excess water then flows to the downstream. Whereas in the dry season, not all of the river flow is diverted to irrigation, but must be kept a certain discharge and flowed into the downstream for the river channel maintenance. Thus, every time of course there is flow pass through the weir and there is a height difference between the upstream and down-stream. This phenomenon can generate a force that can be used as a hydroelectric power plant. The development of this function will lead to the hydraulics behavior river flow changes that can affect the river morphology and irrigation services, so the study might be needed. The case study was conducted on the development of Serayu barrage function as hydro power plant in Central Java which is equipped with the 4 unit turbines installed in the right bank. The study was supported by a physical hydraulic model test for the objectives to investigate the aspects of the utilization of river water discharge, hydraulic behavior changes, in order to not disturb the main function and river morphology.

Keywords: River flow, weir, power plant, hydro power, hydraulic behavior, hydraulic model test

PENDAHULUAN

Air sungai dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan di luar alur sungai dengan menyadap air sungai dan mengalirkannya ke tempat yang dituju. Penyadapan dapat dilakukan secara langsung apabila elevasi permukaan air sungai terletak lebih tinggi dari pada daerah yang memerlukannya sehingga dapat dialirkan secara gravitasi. Namun, apabila daerah tujuan lebih tinggi elevasinya, diperlukan suatu rekayasa untuk menaikkan elevasi muka air sungai.

Bendung adalah sebuah bangunan yang melintang sungai yang berfungsi untuk meninggikan elevasi muka air sungai agar dapat dialirkan ke tempat yang diperlukan, misalnya ke areal persawahan secara gravitasi. Struktur bendung biasanya terbuat dari pasangan batu kali, bronjong atau beton. Bendung dapat dibedakan antara bendung tetap, artinya tidak ada pintu untuk mengatur ketinggian dan debit air serta bendung gerak yang dilengkapi dengan pintu pengatur debit air dan ketinggian air. Bendung difungsikan untuk berbagai kepentingan, antara lain irigasi, air baku untuk air minum, pemutar turbin, penggelontoran kota, dan sebagainya.

Pembendungan air sungai, disamping mengakibatkan kenaikan muka air di hulu bendung, juga akan menyebabkan adanya perbedaan tinggi muka air antara hulu dan hilir bendung. Perbedaan ketinggian muka air ini cukup signifikan, kadang-kadang lebih dari 10 meter.

Bendung irigasi direncanakan untuk menaikkan muka air sungai dan mengalirkannya secara gravitasi ke daerah irigasi. Pada saat musim penghujan, debit air sungai jauh lebih besar dari pada kebutuhan untuk irigasi. Pada saat itu, kelebihan air melimpah melintasi bendung ke alur sungai di hilir bendung. Sebaliknya, pada musim kemarau, walaupun debit air lebih kecil daripada kebutuhan irigasi, tidak semua air sungai dialirkan menuju ke saluran irigasi. Sebagian debit sungai tetap harus dialirkan ke alur sungai di hilir bendung. Aliran ini diperlukan guna pemeliharaan alur sungai. Dengan demikian, pada sebuah bendung akan terdapat perbedaan ketinggian antara permukaan air di hulu dan di hilir bendung (terjunan) dan adanya debit air yang melintasi bendung.

Aliran air dengan debit tertentu dan bergerak dari suatu tempat ke tempat yang lebih rendah merupakan suatu potensi sumber tenaga yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan misalnya memutar turbin air pada sebuah instalasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Instalasi pembangkit listrik tenaga air biasanya dibangun di samping bendung dengan membe-

lokkan aliran menuju instalasi PLTMH kemudian mengembalikannya kembali ke alur sungai. Oleh karena itu untuk mengembangkan fungsi bendung untuk digunakan sebagai PLTMH, perlu dilakukan pengkajian atau penelitian yang cermat dari berbagai aspek, terutama perilaku hidroliknya.

Penelitian ini dimaksud untuk mengetahui perubahan perilaku hidraulik yang terjadi akibat pengembangan fungsi bendung untuk digunakan sebagai PLTMH, sedangkan tujuannya adalah melakukan antisipasi dan modifikasi serta saran yang diperlukan agar pengembangan ini tidak mengganggu morfologi sungai maupun fungsi utama bendung sebagai pemasok air irigasi.

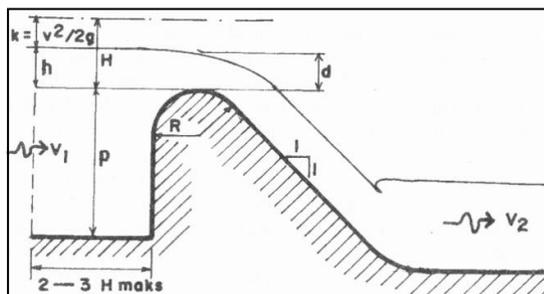
KAJIAN PUSTAKA

Berdasarkan Standar Tata Cara Perencanaan Umum Bendung (1991), yang dimaksudkan dengan bendung adalah suatu bangunan air dengan kelengkapannya, yang dibangun melintang sungai maupun sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan elevasi muka air atau untuk mendapatkan tinggi terjun, sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi menuju ke tempat yang membutuhkan air.

Menurut sejarah, bendung yang pertama kali dibuat di Indonesia ialah bendung di Kali Sampean, Jawa Timur pada tahun 1832. Setelah itu disusul dengan pembangunan beberapa bendung di berbagai tempat untuk bermacam-macam kepentingan, namun utamanya ialah untuk mendukung sektor pertanian dan perkebunan (Mawardi, 2007).

Keberadaan bendung akan menyebabkan fenomena pembendungan aliran di hulu bendung yang akan mengakibatkan terjadinya kenaikan muka air di hulu bendung (Chow, 1959).

Kenaikan muka air di hulu bendung tergantung pada beberapa faktor antara lain: debit, lebar bendung, bentuk mercu, koefisien pelimpahan dan lain lain. Secara umum, untuk ambang bulat (lihat Gambar 1) dan dinding samping tegak, tinggi muka air di hulu bendung dapat dihitung dengan rumus energi-debit seperti di bawah ini (Mawardi E. dan Memed M., 2004).



Gambar 1 Tinggi muka air di atas mercu bendung

$$Q_d = C_d \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot b \cdot H^{3/2}}$$

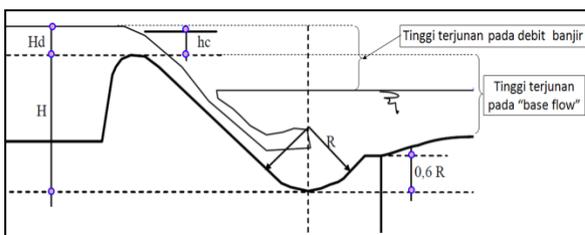
keterangan:

- Q_d = debit sungai (m^3/s)
- C_d = koefisien, $C_d = C_o.C_1.C_2$
- g = percepatan gravitasi (m/s^2)
- b = lebar mercu/ambang efektif (m)
- H = tinggi energi di atas mercu = $h+k$
- $k = \frac{v^2}{2g}$
- v = kecepatan aliran (m/s)

Nilai koefisien C_d tergantung dari beberapa faktor antara lain bentuk mercu, kemiringan dinding hulu tubuh bendung, dan lain-lain (Standar Perencanaan Irigasi KP 02, 1986).

Elevasi permukaan air di hilir bendung tergantung pada: debit, bentuk alur, kekasaran tebing dan dasar alur sungai serta rejim aliran di hilir bendung. Dengan demikian, dengan adanya struktur bendung yang melintang akan menyebabkan perbedaan tinggi muka air antara muka air di hulu dan hilir bendung.

Perbedaan tinggi muka air ini tidak sama antara musim penghujan dan musim kemarau. Pada saat musim penghujan, permukaan air di hulu bendung akan naik cukup signifikan, namun pada saat itu permukaan air di hilir juga tinggi. Sebaliknya, pada saat musim kemarau, permukaan air di hulu bendung mungkin sama atau bahkan lebih rendah daripada elevasi mercu bendung. Namun pada saat itu permukaan air di hilir bendung juga rendah. Dengan demikian, perbedaan tinggi muka air sungai antara hulu dan hilir bendung bervariasi tergantung pada debit air sungai (lihat Gambar 2).



Gambar 2 Variasi tinggi terjunan pada bendung

Perbedaan tinggi muka air antara hulu dan hilir ini merupakan suatu potensi yang sangat baik sebagai sumber pembangkit tenaga yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, misalnya memutar turbin air, menumbuk padi, dan sebagainya.

Jean Bernard dan Serge Maucor (1984) menyatakan bahwa "une chute d'eau de un mètre, sur une rivière don't le debit est un mètre cube par seconde, fournit une puissance permanente utilisable de 7 kw environ" (sebuah terjunan air setinggi satu meter, pada suatu sungai yang mempunyai debit satu me-

ter per detik, dapat membangkitkan tenaga sekitar 7 kw).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebenarnya sudah ditemukan sejak abad 19, namun karena saat itu bahan bakar relatif murah dan lokasi PLTA jauh dari pemakai listrik sedangkan sistem penyaluran tenaga saat itu belum efisien, maka PLTA kurang begitu dilirik. Dengan disempurnakannya efisiensi sistem penyaluran listrik tegangan tinggi dan krisis energi di awal tahun tahun 1970an serta ditambah dengan kesadaran dunia tentang bahaya kerusakan lingkungan, PLTA berkembang sangat pesat (Linsley Ray K. dan Franzini Joseph B., 1991).

Dibandingkan dengan sumber tenaga lainnya, PLTA merupakan sumber tenaga yang terbarukan (*renewable energy resources*) dan ramah lingkungan, sehingga sering juga disebut dengan energi hijau.

Prinsip kerja PLTA adalah dengan memanfaatkan potensi tenaga aliran air dengan tinggi terjun (H) dan debit (Q) tertentu, menjadi tenaga penggerak. Tenaga aliran air digunakan untuk memutar turbin air yang kemudian dihubungkan dengan generator listrik. Dengan demikian, daya pembangkitan listrik tenaga air dihitung berdasarkan formula di bawah ini (Arismunandar A. dan Kuwahara S., 2004).

Daya hidraulik tenaga air:

$$P_{air} = \rho g Q H$$

keterangan:

- P_{air} = daya hidraulik (Watt)
- ρ = kerapatan masa air = 1000 kg/m^3
- g = percepatan gravitasi = 9.81 m/s^2
- Q = debit (m^3/s)
- H = tinggi terjun efektif (m)
= beda tma_{hulu} dan tma_{hilir} (H_{statik}) - (ΔH)
- (ΔH) = kehilangan tinggi (*head loss*)

Daya turbin yang dihasilkan :

$$P_T = \eta_t P_{air}$$

keterangan: P_T = daya turbin [Watt]
 η_t = efisiensi turbin

Daya listrik yang dihasilkan :

$$P_E = \eta P_{air}$$

keterangan:

- P_E = daya listrik [Watt]
- η = efisiensi gabungan turbin dan generator
= $\eta_T \eta_G$
- η_T = efisiensi turbin
- η_G = efisiensi generator

Daya hidraulik akibat debit dan tinggi terjun akan memutar turbin air. Dengan demikian pemilihan jenis turbin air menjadi hal yang menarik dan

menjadi objek penelitian untuk mencari sistem, jenis, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum.

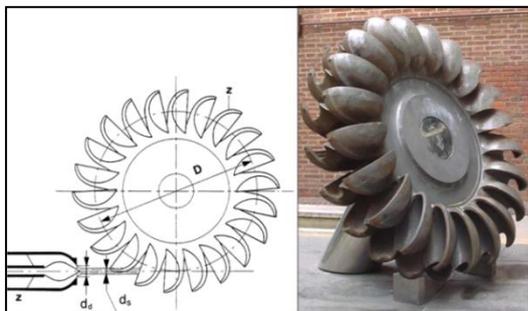
Secara garis besar turbin dibedakan menjadi dua yaitu: turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls bekerja akibat kecepatan dan tenaga pancaran air yang mendorong sudu turbin (contoh: turbin Pelton). Sedangkan turbin reaksi berputar akibat perubahan tekanan ketika air mengalir melalui turbin dan menimbulkan energi. Turbin reaksi harus tertutup dan terendam air agar tercipta hisapan pada saat air keluar turbin (contoh: turbin Francis, Kaplan, *cross-flow*)

Karakteristik dari setiap jenis turbin sangat menentukan dalam pemilihan jenis turbin yang akan digunakan. Menurut Linsley Ray K. dan Franzini Joseph B. (1991), jenis turbin dapat diklasifikasikan dalam beberapa criteria, yaitu:

- 1 Berdasarkan arah masuk air
- 2 Berdasarkan kerja momentum fluida
- 3 Berdasarkan kecepatan spesifik (n_s)
- 4 Berdasarkan tinggi terjun

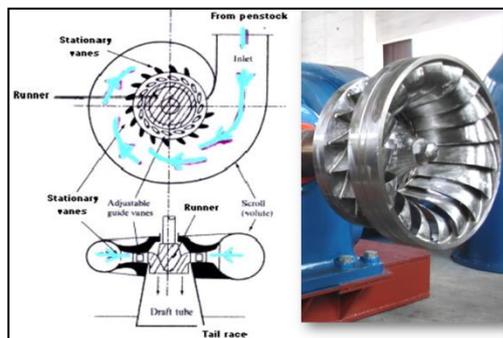
Jenis turbin yang populer dan umum digunakan dalam PLTA, antara lain:

- 1 Turbin Pelton (Gambar 3)
- 2 Turbin Francis (Gambar 4)
- 3 Turbin Kaplan (Gambar 5)
- 4 Turbin *Cross flow* (Gambar 6)



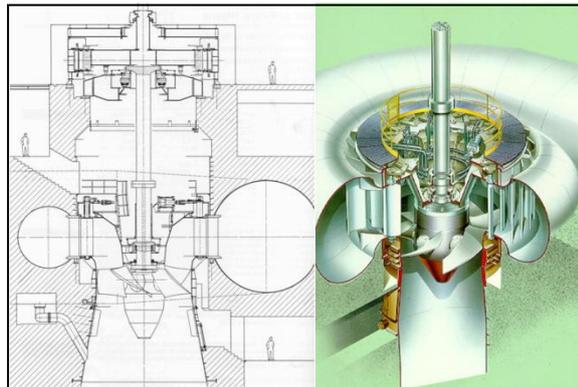
Sumber: Ankit Singh

Gambar 3 Turbin Pelton



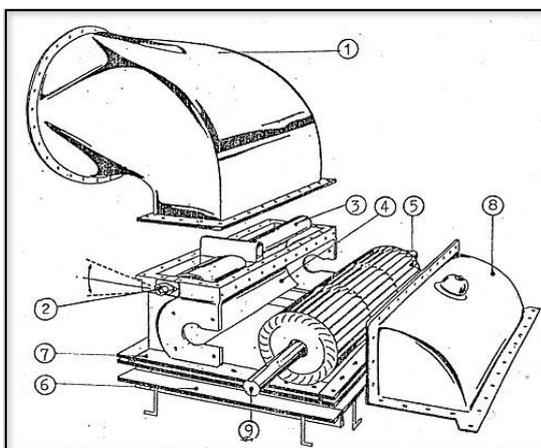
Sumber: Pratthamesh, Akash dan Adhy Purnomo

Gambar 4 Turbin Francis



Sumber: www.ivt.ntnu.no

Gambar 5 Turbin Kaplan



Sumber: Arismunandar, 2004

Gambar 6 Turbin Cross Flow

Pemilihan jenis turbin dapat dilakukan melalui berbagai cara baik dengan perhitungan maupun menggunakan diagram. Tinggi terjun biasanya digunakan sebagai pedoman awal dalam pemilihan jenis turbin, yaitu:

- 1 Terjunan yang rendah (<40 meter) dengan debit air yang besar, maka Turbin Kaplan atau *propeller* cocok untuk digunakan pada kondisi seperti ini.
- 2 Terjunan sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini lebih cocok menggunakan Turbin Francis atau *Cross-Flow*.
- 3 Terjunan yang tinggi di atas 200 meter dan debitnya sedang, turbin impuls jenis Pelton lebih cocok.

Dengan demikian terdapat berbagai jenis/tipe pembangkit listrik tenaga air bisa diklasifikasikan dalam berbagai jenis/tipe. Menurut Penche (2004), PLTA dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1 Berdasarkan tinggi terjunan (H =head):
 - 1) Terjunan rendah ($H < 50m$)

- 2) Terjunan menengah ($50m \leq H \leq 250m$)
- 3) Terjunan tinggi ($H > 250m$)
- 2 Berdasarkan metode pengoperasian/tampung air:
 - 1) Dengan waduk pengatur air
 - 2) Tanpa waduk (*run-off river plant*)
- 3 Berdasarkan sistem pembawa air:
 - 1) Sistem pipa tekan
 - 2) Sistem saluran dan pipa tekan
- 4 Berdasarkan letak *power house*:
 - 1) Power house di dalam tubuh bendungan
 - 2) Power house di hilir tubuh bendungan
- 5 Berdasarkan metode konversi energi:
 - 1) Pemakaian turbin
 - 2) Pemakaian turbin dan pemompaan
- 6 Berdasarkan tipe turbin:
 - 1) Turbin impulse
 - 2) Turbin reaksi
 - 3) Turbin reversible (turbin dan pompa)
- 7 Berdasarkan kapasitas terpasang
 - 1) Mikro hidro (<100 kW)
 - 2) Mini hidro (100 kW – 500 kW)
 - 3) Kecil/Small (500 kW – 10 MW)
 - 4) Besar (> 10 MW)
- 8 Berdasarkan debit tiap turbin:
 - 1) Mikro hidro ($Q < 0,40 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - 2) Mini hidro ($0,40 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 12,8 \text{ m}^3/\text{s}$)
 - 3) Standar ($Q > 12,8 \text{ m}^3/\text{s}$)

Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral (ESDM) menetapkan klasifikasi PLTA berdasarkan kapasitas daya yang dihasilkan seperti disampaikan pada Tabel 1 di bawah ini (Febriansyah dan Windarto, J., 2010),

Tabel 1 Klasifikasi PLTA berdasar daya

Daya	Klasifikasi
< 1 MW	Mikro Hidro
1 MW – 10 MW	Mini Hidro
>10 MW	PLTA Skala penuh

Pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas daya hingga 10 MW disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mini dan Mikro Hidro (disingkat dengan PLTM dan PLTMH). Namun dalam masyarakat, keduanya populer dengan istilah PLTM saja. PLTM dipandang sebagai pilihan yang tepat untuk penyediaan energi listrik untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik dari PLN. PLTM adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjun (*head*) dan jumlah debit air.

Di masyarakat PLTM menjadi cukup populer karena mempunyai beberapa keuntungan, antara lain:

- 1 PLTM cukup murah dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya.
- 2 Menggunakan sumber daya yang terbarukan.
- 3 Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
- 4 Ramah lingkungan karena tidak menimbulkan pencemaran maupun suara yang gaduh.
- 5 Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan. Air yang digunakan untuk memutar turbin dapat digunakan lagi untuk irigasi atau perikanan.
- 6 Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.
- 7 Dapat digunakan sebagai penggerak peralatan lainnya seperti pompa air, penumbuk padi, dan lain-lain. Hal ini akan lebih efisien dan aman karena tidak menggunakan motor berbahan bakar minyak maupun listrik

Namun, menurut Ahraf, Idham (2013), PLTM juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain:

- 1 Memiliki kontrol yang terbatas, ketika energi yang tersedia berlebih untuk pembangkit
- 2 Jika tidak disinergikan dengan sistem lainnya (belum ada bangunan bendung), jika dihitung biaya per megawatt dapat lebih mahal daripada PLTA besar.

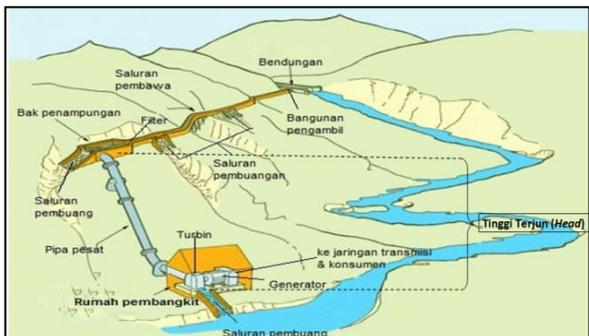
Instalasi PLTM dilengkapi dengan rangkaian bangunan sipil. Bangunan Sipil pada sebuah PLTM ialah bangunan-bangunan yang diperlukan untuk mengendalikan aliran air agar dapat diperoleh tinggi terjun (H) dan debit (Q) yang diperlukan untuk memutar turbin.

Bangunan Sipil tersebut meliputi : bangunan sadap, pintu air, saringan sampah, saluran pembawa, bak penampungan, rumah pembangkit, saluran hilir atau pelepas, bak penampungan air.

Bangunan sadap, pintu air, saluran pembawa serta kelengkapannya digunakan untuk mengalirkan air guna memutar turbin di dalam rumah pembangkit. Kadang-kadang diperlukan bak penampungan yang berfungsi untuk mengatur debit yang akan dialirkan menuju turbin.

Bangunan hilir atau pelepas tergantung dari jenis turbin yang digunakan. Bila digunakan turbin jenis propeller, diperlukan bak turbin dan *draught tube*, sedangkan untuk turbin *crossflow* (aliran silang), diperlukan bak simulasi dan *penstock* (pipa pesat).

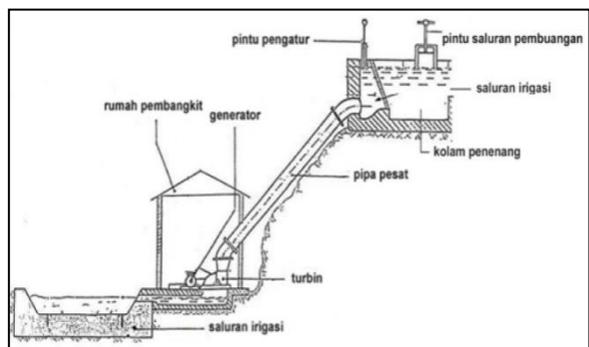
Secara garis besar, bangunan sipil pada PLTM dapat diilustrasikan seperti berikut: Air dari sebuah bendungan dialirkan melalui saluran pembawa menuju ke bak penampungan, kemudian diterjunkan menuju turbin lewat pipa pesat (lihat Gambar 6 di bawah ini).



Sumber: ezhelergy.blogspot.com

Gambar 6 Skema PLTM

Jika PLTM tersebut dibangun pada saluran irigasi yang sudah ada, maka struktur bangunannya akan menjadi sangat sederhana, yaitu air dari saluran irigasi (saluran sekunder yang biasanya banyak terjunan maupun saluran curam) langsung dilewatkan pipa pesat menuju turbin seperti Gambar 7 di bawah ini.



(sumber: bonkadhafadi)

Gambar 7 Skema PLTM pada saluran irigasi

Menurut Peraturan Menteri ESDM No 31 tahun 2009, masyarakat melalui sistem *Public Private Partnership (PPP)* dimungkinkan untuk ikut serta mengembangkan, membangun dan mengelola Pembangkit Listrik Tenaga Air yang kapasitas terpasangnya hingga 10 MW (Mikro-hidro dan Mini-hidro). PLN (Perusahaan Listrik Negara) akan membeli listrik yang dihasilkan untuk disalurkan kepada masyarakat yang membutuhkan. Hal ini merupakan angin segar untuk memanfaatkan potensi sungai maupun jaringan irigasi guna mendapatkan manfaat tambahan untuk dikembangkan sebagai PLTM.

Sejak saat itu banyak masyarakat yang tertarik untuk melakukan pengkajian pada beberapa infrastruktur irigasi atau aliran sungai yang mem-

punyai potensi untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik mini-hidro atau mikro-hidro.

Demikian juga pada bendung gerak Serayu. Selama pengoperasian bendung, terdapat kelebihan aliran yang dilimpaskan ke hilir bendung, sehingga perlu dilakukan pengkajian untuk mengembangkan fungsi bendung sebagai pembangkit tenaga air skala mikrohidro (PLTM). PLTM bendung gerak Serayu (selanjutnya disebut dengan PLTM Serayu) merupakan inovasi memanfaatkan limpasan air pada bendung ini menjadi energi terbarukan yang bersih lingkungan.

Pengembangan ini akan dilaksanakan oleh Pemerintah Daerah kabupaten Banyumas bekerja sama dengan PT Satria Energi Mikrohidro Perkasa dengan disain awal dilakukan oleh Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri Institut Teknologi Bandung (LAPI-ITB).

Pengembangan PLTM ini diprakirakan akan sangat menguntungkan. Hal ini terlihat dari nilai *Internal Rate of Return (IRR)* yang mencapai 54,6% dengan waktu balik modal 4 hingga 8 tahun (Ahraf Idham, 2013).

PLTM Serayu dilakukan dengan membuat saluran derivasi ke arah 4 turbin yang dibangun di sebelah kanan bendung. Saluran derivasi dibuat dengan membelokkan aliran ke kanan berawal dari sebelah hulu bendung. Saluran pembuang dimasukkan lagi ke sungai di sebelah hilir bendung (lihat Gambar 8).



Sumber: LAPI-ITB, 2010

Gambar 8 Rencana PLTM Serayu

DATA TEKNIS BENDUNG GERAK SERAYU

Bendung gerak Serayu yang membentang di sungai Serayu, terletak di desa Gambarsari, kecamatan Kebasen, kabupaten Banyumas, provinsi Jawa Tengah. Bendung gerak Serayu dapat dicapai

melalui jalan raya Cilacap-Purwokerto, sekitar 3 km di sebelah kanan jalan raya dari Rawalo menuju Patikraja. (lihat Gambar 9).

Bendung gerak Serayu dibangun sejak tahun 1993 dan mulai beroperasi sejak bulan November 1996. Fungsi utama bangunan ini adalah sebagai bendung irigasi yang melayani areal irigasi seluas kurang lebih 20.795 ha di wilayah kabupaten Banyumas, Cilacap dan Kebumen dengan kapasitas debit pengambilan maksimum sebesar 32 m³/s.

Disamping fungsi utama seperti tersebut di atas, bendung gerak Serayu merupakan bendung gerak dengan berbagai manfaat, karena selain berfungsi untuk irigasi, bendung ini juga mempunyai manfaat lain seperti untuk pengendalian dasar sungai, pariwisata, dan lain-lain.

Data teknis bendung gerak Serayu adalah sebagai berikut:

- Tipe bendung : bendung gerak

- Panjang bendung : 121,20 meter
- Lebar bendung : 109,60 meter
- Pintu air radial : 8 buah @ 10,79 x 9,00 m
- Debit Q₁₀₀ : 2470 m³/s
- Debit untuk irigasi : 32 m³/s
- Debit pengurasan : 24 m³/s

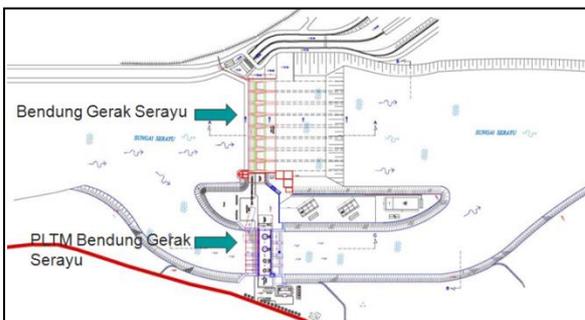
PLTM Serayu direncanakan akan menggunakan 4 buah turbin Kaplan dengan rincian 2 buah turbin dengan kapasitas masing-masing 2 MW dan 2 buah turbin yang berkapasitas masing-masing sebesar 4 MW.

Turbin dipasang berderet di sebelah kanan bendung dan untuk memutar turbin, dibuat saluran pengantar di sebelah hulu bendung menuju turbin. Setelah dari turbin aliran air melewati saluran pembuang yang bermuara di hilir bendung. Gambar 10 menunjukkan *lay-out* posisi turbin dan saluran derivasi, sedangkan potongan memanjang saluran di turbin ditampilkan pada Gambar 11.



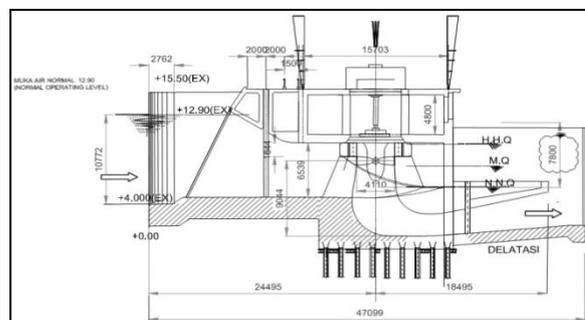
Sumber: Google Map

Gambar 9 Lokasi bendung gerak Serayu



Sumber: LAPI-ITB, 2010

Gambar 10 Tata letak turbin dan saluran derivasi



Sumber: LAPI-ITB, 2010

Gambar 11 Potongan memanjang saluran di turbin

Skenario pengoperasian turbin adalah dengan mengoperasikan turbin yang kapasitasnya 2 MW secara penuh, sedangkan turbin yang berkapasitas 4 MW hanya beroperasi sekitar 45% dalam setahun. Dengan skenario ini, kapasitas total tidak melebihi 10 MW, sehingga masih dapat dikelola secara *Public Private Partnership*.

Pengoperasian PLTM tetap pada prioritas setelah kebutuhan pasokan irigasi terpenuhi. Pada saat air tidak mencukupi, turbin tidak dioperasikan, maka pada saat itu dapat dilakukan perawatan.

Perilaku Hidraulik

Instalasi PLTM Serayu direncanakan dengan membelokkan aliran sungai Serayu menuju turbin. Perilaku aliran akibat bentuk alinyemen saluran pembawa sangat mempengaruhi efisiensi besarnya debit yang masuk ke saluran menuju turbin.

Mengingat bendung Serayu merupakan bendung gerak, maka perbedaan tinggi muka air di hulu dan di hilir bendung tergantung pada debit sungai dan pola pengoperasian pintu-pintu air.

Saluran pembuang dimasukkan kembali ke sungai di hilir bendung. Aliran ini akan mempengaruhi pola aliran sungai yang dapat mengganggu morfologi sungai.

Dengan adanya pembelokan aliran ini akan mempengaruhi perilaku hidraulik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian pada perubahan perilaku hidraulik akibat derivasi aliran ini, kemudian dilakukan modifikasi agar pembelokan aliran ini tidak mengganggu fungsi utama sebagai bendung irigasi serta tidak menimbulkan dampak negatif terhadap morfologi sungai Serayu.

HIPOTESIS

Perilaku Hidraulik yang berubah akibat dari pembelokan aliran, dapat diperbaiki dengan modifikasi, agar tidak mengganggu fungsi utama bendung irigasi dan bisa meminimalkan dampak negatif terhadap morfologi Sungai Serayu.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan uji model hidraulik fisik untuk mempelajari dan memprediksi dampak hidraulik pengembangan manfaat bendung gerak Serayu untuk pembangkit listrik tenaga minihidro.

Uji model hidraulik fisik meliputi kegiatan pembuatan model bangunan instalasi bendung beserta pengembangan instalasi PLTMnya. Model dibuat dengan skala 1:50 dengan similarisasi menggunakan kriteria Froude.

Setelah itu dilakukan pengamatan pada uji pengaliran pada berbagai skenario pengoperasian

pintu-pintu air guna mengetahui tinggi terjun yang diperoleh serta pengoperasian turbin seperti yang diuraikan sebelumnya.

Skenario pengoperasian ini akan menyebabkan pola aliran air yang menuju turbin dan keluar turbin tidak merata karena ada turbin yang tidak dioperasikan. Pola aliran ini yang perlu diteliti agar tidak berdampak negatif pada morfologi sungai.

Skenario ini ditirukan dalam Uji model hidraulik fisik untuk mengetahui perilaku hidrolika akibat dibangunnya pembangkit listrik di samping bendung.

Hal-hal yang diamati antara lain:

- a. Perbedaan tinggi elevasi muka air di hulu dan hilir bendung
- b. Pola aliran di sungai maupun di saluran
- c. Kecepatan aliran
- d. Pola pergerakan Sedimen dan aliran sampah.

Guna mendapatkan efisiensi yang optimal pada derivasi aliran yang menuju instalasi PLTM, dicoba dilakukan pengamatan pada beberapa modifikasi bentuk alinyemen saluran pembawa. Penelitian pola aliran juga dilakukan di tempat masuknya saluran pembuang di sungai Serayu agar aliran tidak mempunyai dampak yang kurang baik bagi bendung maupun morfologi sungai.

Dalam Uji Model Hidraulik Fisik ini dilakukan beberapa seri pengujian meliputi:

- a. Uji model sebelum ada bangunan PLTM
- b. Uji model terhadap desain PLTM
- c. Uji model modifikasi desain yang dilakukan beberapa kali untuk menghasilkan usulan terbaik, namun dalam tulisan ini hanya disampaikan adalah hasil modifikasi yang terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan perbedaan tinggi muka air di hulu dan hilir bendung

Bendung irigasi Serayu merupakan bendung gerak yang dilengkapi dengan 8 buah pintu radial. Fungsi pintu itu adalah untuk mengatur tinggi muka air di hulu bendung tidak melewati elevasi tertentu pada saat debit banjir agar air sungai tidak meluap.

Berdasarkan petunjuk Operasi dan Pemeliharaan bendung Serayu yang diterbitkan oleh Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Serayu-Bogowonto (2007), agar sungai Serayu tidak meluap pada saat banjir, maka muka air di hulu bendung ditetapkan tidak melebihi elevasi +12,90 pada keadaan normal dan +13,20 pada keadaan luar biasa. Dengan demikian, pintu gerak dioperasikan sede-

mikian rupa sehingga elevasi di hulu sesuai dengan yang ditetapkan.

Elevasi muka air di hilir bendung tergantung pada besar debit dan rejim sungai. Perbedaan antara elevasi muka air di hulu dan di hilir bendung merupakan tinggi terjun potensial yang digunakan untuk memutar turbin.

Pengamatan dilakukan pada beberapa debit aliran sungai dengan skenario elevasi muka air hulu +12,90 dan +13,20. Grafik hasil pengamatan perbedaan elevasi muka air di hulu dan hilir bendung (tinggi terjun bruto) disampaikan dalam Gambar 12 (untuk elevasi m.a. hulu +12,90) dan Gambar 13 (untuk m.a. hulu +13,20).

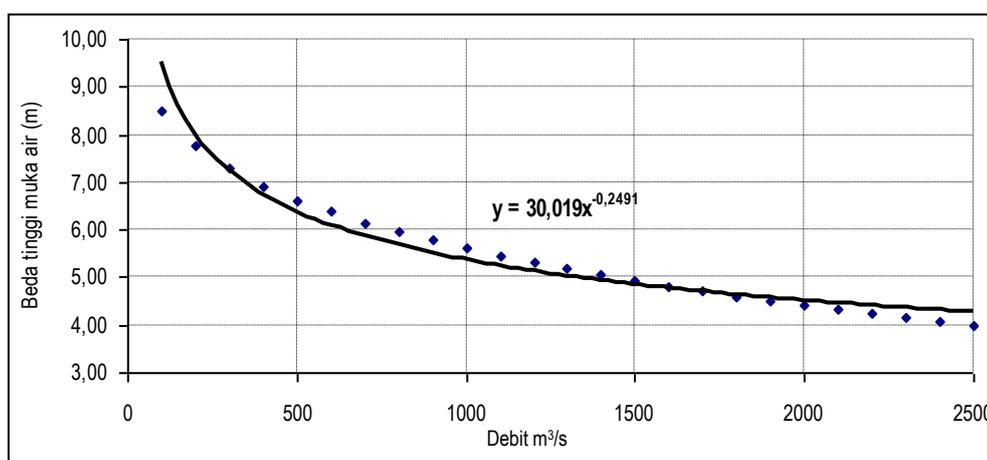
Berdasarkan hasil pengamatan pada uji model, didapat tinggi terjun antara 4,00 m. hingga

9,00 m. yang cukup mampu untuk membangkitkan tenaga untuk memutar turbin.

Pengamatan Pola aliran

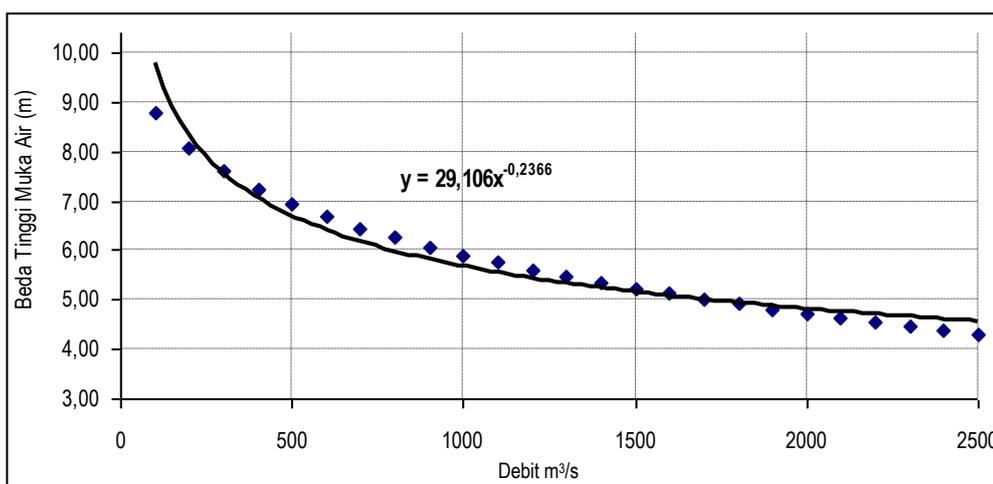
Instalasi PLTM diletakkan di sebelah kanan bendung. Guna memasok aliran untuk memutar turbin, dilakukan pembelokan aliran ke arah kanan menuju instalasi PLTM seperti terlihat pada Gambar 10).

Pada sungai utama, pengamatan pola aliran dilakukan terhadap sistem pengoperasian pintu gerak. Berdasarkan hasil pengamatan, pengoperasian pintu gerak dilakukan dengan membuka pintu bagian tengah lebih tinggi sehingga arus utama berada di tengah alur sungai sehingga tidak merusak tebing.



Sumber: Hasil Pengamatan UMH Balai Sungai, 2011

Gambar 12 Tinggi terjun pada el. m.a hulu +12,90



Sumber: Hasil Pengamatan UMH Balai Sungai, 2011

Gambar 13 Tinggi terjun pada el. m.a hulu +13,20

Pada saluran derivasi, pengamatan dilakukan pada berbagai skenario pengoperasian turbin dan variasi debit. Secara umum, akibat adanya derivasi saluran menuju ke turbin, hasil pengamatan pola aliran yang terjadi dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1 Pola aliran sungai utama cenderung merata.
- 2 Pada saat memasuki mulut saluran, terdapat sedikit arus mati di tebing kanan di awal saluran. Hal ini disebabkan bentuk awal saluran kurang *stream-line*.
- 3 Bentuk pola aliran di hilir turbin berubah-ubah tergantung besarnya debit yang lewat turbin dan pengoperasian turbin. Pengoperasian turbin yang seimbang antara kiri dan kanan akan menghasilkan pola aliran yang simetris sehingga tidak membahayakan tebing.
- 4 Pada saat bergabung dengan sungai induk, pola aliran terkonsentrasikan di tengah alur sungai, namun terdapat sedikit pusaran kecil di tebing kanan di hilir muara saluran.

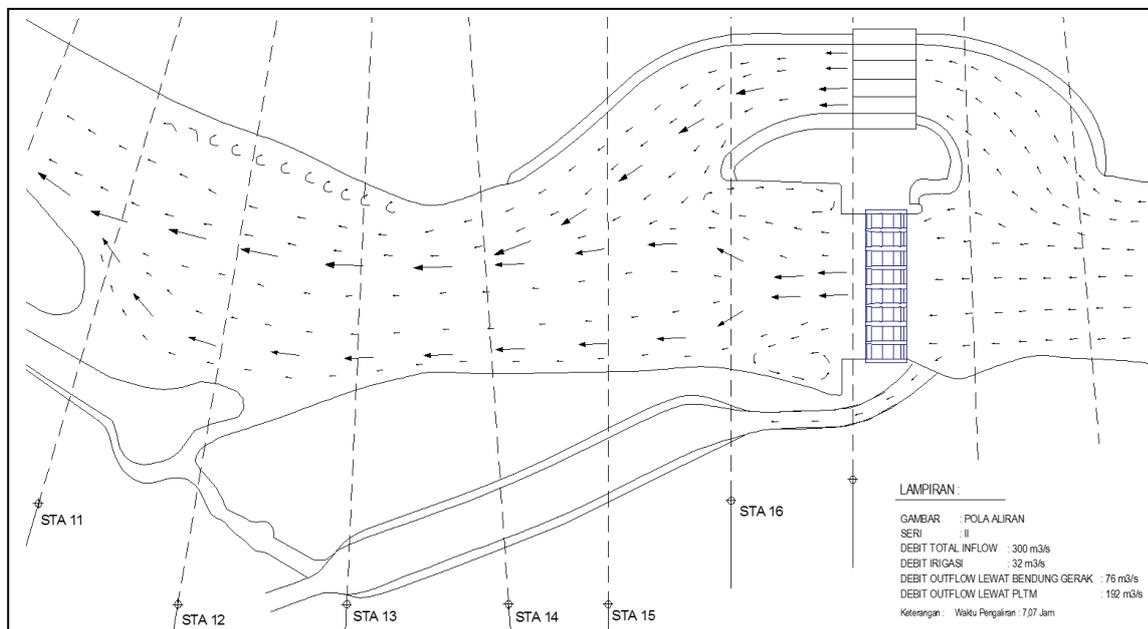
Gambar 13 di bawah ini dapat mewakili pola aliran yang terjadi dari berbagai skenario pengaliran yang dilakukan. Guna mendapatkan pola aliran yang lebih baik, dicoba diterapkan beberapa modifikasi pada alinyemen saluran pada instalasi PLTM, antara lain sebagai berikut:

- 1 Memotong dan membuat *stream-line* tebing kanan awal saluran menuju instalasi PLTM. Setelah dilakukan modifikasi, tidak nampak adanya arus mati di tebing kanan mulut derivasi dan pola arus pada saat memasuki mulut turbin relatif lebih merata.
- 2 Memotong dan membuat *stream-line* tebing kanan pertemuan saluran dengan sungai. Setelah dilakukan modifikasi, tidak nampak adanya pusaran air di tebing kanan setelah muara saluran.

Pengamatan Kecepatan Aliran

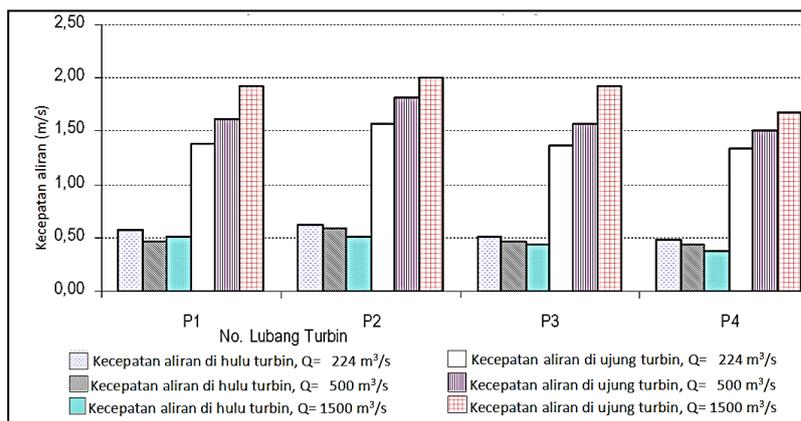
Kecepatan aliran di saluran pembawa dan saluran pembuang tergantung pada pola operasi turbin. Pada saat suatu turbin tidak beroperasi, di hulu dan hilir tersebut kecepatan aliran cenderung melambat dan sedikit terjadi pusaran. Namun pada operasi normal, kecepatan relatif seragam.

Berdasarkan hasil pengamatan, aliran air pada saat keluar turbin (ujung turbin) lebih cepat dari pada saat mendekati (di hulu) turbin. Diagram pada Gambar 14 menunjukkan kecepatan di hulu dan hilir masing-masing turbin pada beberapa skenario debit aliran.



Sumber: Hasil Pengamatan UMH Balai Sungai, 2011

Gambar 13 Pola aliran akibat adanya bangunan PLTM



Sumber: Hasil Pengamatan UMH Balai Sungai, 2011

Gambar 14 Kecepatan aliran di hulu dan hilir turbin

Pengamatan pola pergerakan sedimen

Pola pergerakan sedimen diujicobakan pada setiap seri percobaan yang dialiri dengan 2 macam debit, yaitu debit alur penuh (500 m³/s) dan debit pada saat banjir normal (1500 m³/s). Material sedimen menggunakan serbuk batu bara.

Hasil pengamatan antara lain sebagai berikut:

- 1 Di sebelah hulu, potensi terjadinya sedimentasi adalah di hulu bagian tengah. Di depan pintu pengambilan untuk irigasi sedimentasi dapat tergelontor. Demikian juga pada mulut saluran pengantar di depan turbin, proses pembilasan berjalan dengan baik (lihat Gambar 15).
- 2 Terjadi gerusan lokal di hilir turbin. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan hasil pengamatan gerusan lokal pada 3 variasi debit, sedangkan Gambar 16 menunjukkan pola gerusan lokal pada debit 1500 m³/s.

Pergerakan aliran sampah

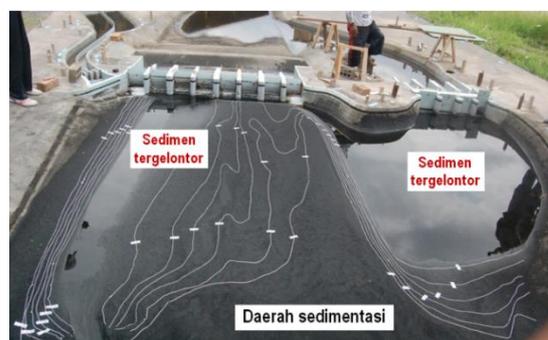
Pengujian pergerakan sampah yang terbawa aliran air adalah untuk memprakirakan gerakan aliran sampah yang masuk ke PLTM.

Hasil pengamatan pergerakan aliran sampah adalah sebagai berikut:

- 1 Untuk debit kurang dari 224 m³/s, aliran sampah cenderung bergerak ke intake irigasi dan saluran PLTM
- 2 Untuk debit di atas 224 m³/s, sebagian besar aliran sampah melimpas lewat bendung gerak.

Tabel 2 Gerusan lokal di hilir turbin

No.	Debit total (m³/s)	Gerusan lokal (m)	
		terpanjang	terdalam
1	224	40,00	-0,85
2	500	36,00	-0,50
3	1500	33,30	-0,20



Sumber: Hasil Pengamatan UMH Balai Sungai, 2011

Gambar 15 Pola sedimentasi di hulu bendung



Sumber: Hasil Pengamatan UMH Balai Sungai, 2011

Gambar 16 Pola gerusan di hilir turbin

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

Bendung gerak Serayu yang membentang di aliran sungai Serayu dengan fungsi utama untuk memasok kebutuhan air irigasi dengan debit saluran maksimum sebesar 32 m³/s mempunyai potensi untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga air.

Untuk membangkitkan tenaga listrik, dipasang 4 buah turbin Kaplan (2 turbin @ 2 MW dan 2 turbin @ 4 MW) pada tebing di sebelah kanan bendung. Turbin dioperasikan secara bergantian dengan kapasitas total < 10 MW.

Derivasi saluran pengantar dibangun pada sisi kanan di hulu bendung menuju turbin. Saluran pembuang dimasukkan ke sungai utama di hilir bendung.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada uji model hidraulik fisik, perilaku hidrolika aki-bat beroperasinya turbin tidak mengganggu morfologi sungai. Aliran air dari saluran PLTM tidak menghantam tebing sungai di seberangnya.

Pola aliran pada saat memasuki mulut saluran, terdapat sedikit arus mati di tebing kanan di awal saluran. Hal ini disebabkan bentuk awal saluran kurang *stream-line*.

Di muara saluran pembuang, pada saat bergabung dengan sungai induk, pola aliran terkonsentrasikan di tengah alur sungai, namun terdapat sedikit pusaran kecil di tebing kanan di hilir muara saluran.

Setelah dilakukan sedikit modifikasi pada alinyemen tebing kanan di awal saluran pengantar, arus air yang menuju instalasi PLTM cenderung merata pada ke empat turbin.

Dengan demikian, secara garis besar bendung gerak Serayu dapat dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga mikro disamping fungsi utamanya memasok kebutuhan air irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahraf, Idham. 2013. Aspek Hidraulik dan Finansial PLTM Tinggi Tekanan Rendah pada Bendung Gerak Sungai Serayu, Repositori TAFTSL, Publikasi FTSL ITB.
- Arifin, Motaka dan Yasin, Mohamad. 2009. Kajian Potensi Energi Listrik Mikrohidro pada Saluran Irigasi Provinsi Gorontalo untuk menunjang Elektifikasi Pertanian, Repository Universitas Negeri Gorontalo.
- Arismunandar, A. dan Kuwahara, S. 2004. Buku Pe-gangan Teknik Tenaga Listrik, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Balai Sungai. 2012. Laporan Akhir Uji Model Hidrau-lik Fisik PLTM pada bendung gerak Serayu, Surakarta Februari 2012.
- Bernard, Jean dan Maucor, Serge. 1984. Les Micro-centrales Hydrauliques, (Hand-book of micro hydro power plant), GRET-France.
- BSN. 1991, Standard Tata Cara Perencanaan Umum Bendung, SNI 03-2401-1991, Badan Standardisasi Nasional.

- Chow, V.T. 1959. Open Channel Hydraulic, Handbook, McGraw-Hill Kogakusha.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2007, Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan bendung Serayu, Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Serayu-Bogowonto.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1986, Standar Perencanaan Irigasi KP 02, Direktorat Jenderal Pengairan Departemen Pekerjaan Umum.
- Isnugroho. 2012. Pompa Air Mikro Hidro, Alternatif Menghadapi Krisis Energi, *Dinamika Teknik Sipil, Majalah Ilmiah Teknik Sipil UMS, Vol. 12, No. 3, September 2012, hal. 230-238.*
- Kirno, Isnugroho, Indrawan dan Hapsoro Sundoro Galih. 2012. Pengkajian Pemanfaatan Kelebihan Air Irigasi untuk PLTM pada bendung gerak Serayu dengan Uji model Hidraulik, *Jurnal Sumber Daya Air Vol. 8 No. 2, November 2012, hal. 171-186.*
- LAPI-ITB, 2010, Rencana dan Konsep Usulan Pem-bangkit Listrik Tenaga Mini-Hidro di bendung gerak Serayu, LAPI-ITB.
- Linsley Ray K. dan Franzini Joseph B. 1991. Teknik Sumber Daya Air jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Mawardi, Erman dan Memed, Moch. 2004. Desain Hidraulik Bendung Tetap untuk Irigasi Teknis, ISBN 979-8433-56-2, cetakan ke-2, Alfabeta, Bandung.
- Mawardi, Erman. 2007. Bendung, Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Pence, Celso. 2004. Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site. Belgia: ESHA (European Small Hydropower Association).
- Rohermanto, Agus. 2007. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), *Jurnal Vokasi Vol. 4 No. 1, jurusan Mesin Politeknik Negeri Pon-tianak, hal. 28-36.*
- Suarda, Made. 2009. Kajian Teknis dan Ekonomis Po-teni Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro di Bali, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M. Vol. 3 No. 2, Oktober 2009, hal. 184-193.*

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada karyawan Balai Sungai yang telah melaksanakan uji model hidraulik fisik penelitian ini.