

PENGAJIAN PEMANFAATAN KELEBIHAN AIR IRIGASI UNTUK PLTM PADA BENDUNG GERAK SERAYU DENGAN UJI MODEL HIDRAULIK

ASSESSMENT BY HYDRAULIC MODEL TEST OF EXCESSIVE USE OF IRRIGATION WATER AT THE MINI-HYDRO POWER PLANT IN SERAYU BARRAGE

Kirno¹⁾ Isnugroho²⁾ Indrawan³⁾ Galih Habsoro Sundoro⁴⁾

^{1,2,3,4)}Balai Sungai, Puslitbang Sumber Daya Air, Balitbang PU
Jl. Solo – Kartosuro Km. 7, Pabelan Surakarta
E-Mail: galz_gunner@yahoo.com

Diterima: 27 Juni 2012; Disetujui: 3 Oktober 2012

ABSTRAK

Data debit harian yang melimpas di Bendung Gerak Serayu saat kemarau menunjukkan bahwa selain untuk memenuhi kebutuhan irigasi sebesar 32 m³/s masih ada debit air yang terbuang ke hilir yang memiliki potensi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Hydro (PLTM). Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi daya listrik optimum yang bisa dihasilkan serta mengantisipasi dampak negatif dari pembangunan PLTM. Untuk menganalisa kebutuhan energi PLTM, diperlukan data debit harian terutama data debit sisa kebutuhan irigasi (Q) dan beda tinggi muka air di hulu dan di hilir bendung (Δh) yang dapat diperoleh dengan uji model hidraulik fisik (UMH Fisik). Pada pemanfaatan debit limpasan ini, ada ketentuan yang tidak boleh dilanggar, antara lain: tidak mengganggu kebutuhan debit irigasi, tidak menimbulkan kerusakan morfologi sungai, muka air di hulu bendung di tetapkan +12,90 m untuk kondisi normal (daerah irigasi tertinggi) dan +13,20 m untuk kondisi tidak normal (untuk menghindari air empangan di hulu bendung). Hasil UMH Fisik menunjukkan bahwa Q semakin kecil maka Δh semakin besar; dan jika Q semakin besar maka Δh semakin kecil. Secara umum dapat disimpulkan bahwa dari segi hidraulik Pembangunan PLTM dapat dilakukan karena memiliki Q serta Δh yang memadai untuk mengoperasikan PLTM. Berdasarkan data, debit harian pada musim kering lebih besar dari 32 m³/s, artinya terdapat sisa debit yang dapat digunakan untuk mengoperasikan setidaknya-tidaknya satu unit turbin PLTM dan tidak mengganggu kebutuhan debit irigasi, serta tidak berdampak terhadap morfologi sungai di sekitar bendung gerak.

Kata kunci: *Uji model hidraulik fisik, optimalisasi pemanfaatan debit limpasan, pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM), operasi dan pemeliharaan bendung (OP).*

ABSTRACT

In the dry season, daily discharge data at Serayu Barrage show that in addition to irrigation needs of 32 m³/s, water discharge overflowing in the downstream has the potential to generate a Mini-Hydro Power Plant (MPP). The analyze of energy for MPP, needs daily discharge data, especially of the remaining irrigation needs (Q) and different water levels in the upstream and downstream of dam (Δh) obtained by physical hydraulic model test (Physical HMT). There are some conditions on the utilization of overflow discharge not be violated, among others: no interference with the needs of irrigation discharge, not causing damage to the river morphology, water levels in upstream dam in normal conditions are to be set at +12.90m (highest irrigated area) and +13.20 m for extreme conditions (to avoid back water in upstream dam). Physical HMT results show that if Q becomes smaller, Δh becomes larger, in reverse, if Q becomes larger Δh will be smaller. Based on the data it can be concluded that, dry season daily discharge greater than 32 m³/s may provide a remaining discharge sufficient to operate at least one MPP turbine which shall not interfere with the irrigation discharge needs, and not causing impact on the river morphology in vicinity of the barrage.

Keywords: *Physical hydraulic model test, overflow discharge usage optimization, mini-hydro power plant (MPP), barrage operation and maintenance (OP)*

PENDAHULUAN

Bendung Gerak Serayu yang dibangun sejak 1993 dan diresmikan pada November 1996 berfungsi sebagai bendung irigasi yang melayani daerah irigasi seluas kurang lebih 20.795 ha di wilayah Banyumas dan Cilacap, bahkan sebagian wilayah Kebumen, dengan debit pengambilan maksimum 32 m³/s.

Selain berfungsi sebagai penyedia air irigasi, bendung Gerak Serayu juga mempunyai manfaat lainnya antara lain: pengendalian dasar sungai, pariwisata, dan menaikkan tinggi muka air tanah. Berdasarkan data aliran, bendung ini masih mempunyai kelebihan debit air yang dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Hydro (PLTM) Serayu.

PLTM Serayu merupakan inovasi untuk memanfaatkan energi kelebihan air irigasi di musim penghujan maupun musim kemarau. PLTM Serayu akan dibangun di saluran pengelak di sebelah kanan bendung. Diharapkan PLTM ini tidak berdampak terhadap kebutuhan debit air irigasi dan morfologi sungai. Untuk memprediksi daya listrik yang optimum, perlu diketahui tinggi tekan (Δh) dan debit aliran (Q). Debit aliran ini tidak bisa konstan karena hanya memanfaatkan sisa debit setelah digunakan untuk irigasi. Oleh karena itu diperlukan uji model hidraulik fisik tiga dimensi. Berdasarkan dua parameter Q dan Δh tersebut dapat digunakan untuk menganalisa daya energi listrik yang dihasilkan sesuai debit limpasan pada bendung, dengan ketentuan PLTM ini tidak mengganggu kebutuhan debit irigasi di musim kering maupun musim basah, dan tidak berdampak pada morfologi sungai

Lokasi PLTM Serayu direncanakan dibangun di sebelah kanan Bendung Gerak Serayu di Desa Gambarsari, Kecamatan Kebasen, Kabupaten Banyumas (lihat Gambar 1 dan Gambar 2). Uji model hidraulik fisik dilakukan di Laboratorium Sungai Balai Sungai, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air di Surakarta.

Tujuan umum dari pengkajian model hidraulik fisik adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui perbedaan tinggi muka air antara hulu dan hilir bendung (Δh) pada setiap debit aliran sisa irigasi.
- 2) Mengetahui kapasitas masing-masing debit turbin (Q)

Pengkajian pemanfaatan kelebihan air irigasi untuk PLTM pada Bendung gerak Serayu dengan uji model hidraulik fisik secara teknik bertujuan untuk:

- 1) mengetahui beda tinggi muka air di hulu dan hilir bendung (Δh) pada berbagai keadaan, sebagai parameter analisa daya listrik;
- 2) mengetahui kapasitas debit masing-masing turbin (Q), sebagai parameter analisa daya listrik;
- 3) membuat pola operasi bukaan pintu bendung gerak dan turbin (kapan dioperasikan secara bersamaan maupun bergantian, tergantung musim).
- 4) mempelajari prediksi dampak hidraulis adanya bangunan PLTM yang ditinjau dari segi hidraulik.
- 5) mengevaluasi dan memodifikasi bangunan PLTM untuk memperkecil dampak hidraulis yang terjadi



Gambar 1 Lokasi Bendung Gerak Serayu

KAJIAN PUSTAKA

Berdasarkan buku petunjuk Operasi dan Pemeliharaan (OP) Bendung Gerak Serayu tahun 1994 dan data debit limpasan dua mingguan dari OP bendung gerak Serayu selama 13 tahun, mulai dari tahun 1999 sampai 2011, pada saat musim kemarau atau kering ada kelebihan debit yang tidak digunakan untuk irigasi, artinya air untuk irigasi sebesar 32 m³/s terpenuhi. Kelebihan air dibuang ke hilir untuk regulasi sungai di hilir bendung gerak. Kelebihan air inilah yang akan dimanfaatkan untuk memutar turbin PLTM. Tetapi kemungkinan ada juga debit aliran kurang dari 32 m³/s. Pada keadaan ini turbin PLTM tidak dapat dioperasikan. Pada musim hujan jelas kebutuhan air untuk irigasi tercukupi, sehingga air yang melimpas di atas bendung dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin PLTM. Disamping itu, pengoperasian PLTM tidak boleh mengganggu kondisi morfologi sungai.

Data debit limpasan pada bendung gerak di Sungai Serayu rata-rata dua mingguan, dan data yang ditampilkan adalah debit musim kering antara bulan Juni sampai bulan Oktober disampaikan dalam Tabel 1 berikut ini. Maksud menampilkan data debit limpasan pada musim kering ini adalah untuk menunjukkan kondisi kritis, sehingga dapat diketahui adanya kelebihan debit aliran sungai yang dapat dimanfaatkan untuk operasi PLTM, setelah fungsi utama untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dapat dipenuhi.

Berdasarkan data rata-rata debit dua mingguan dari tahun 1999 sampai 2010, pada umumnya musim kering jatuh dari bulan Juni

sampai bulan Oktober. Pada tahun 2003 sampai 2009, pada bulan Juli sampai Oktober debit aliran sungai Serayu kurang dari 32 m³/s, sehingga kebutuhan debit irigasi tidak tercukupi, jadi PLTM tidak dapat dioperasikan. Berdasarkan data di atas, kemungkinan kegagalan PLTM tidak dapat dioperasikan sebesar 50%. Mengingat selama bulan Nopember sampai Mei debit Sungai Serayu lebih besar dari 60 m³/s maka PLTM dapat dioperasikan, karena untuk dapat memutar turbin yang berdimensi kecil butuh debit 32 m³/s.

Selain data debit limpasan pada bendung gerak Serayu, juga ada data debit limpasan dan tinggi muka air di hilir bendung (hasil pencatatan dari tahun 1999 sampai 2010) yang ditampilkan ke dalam bentuk grafik Gambar 3.

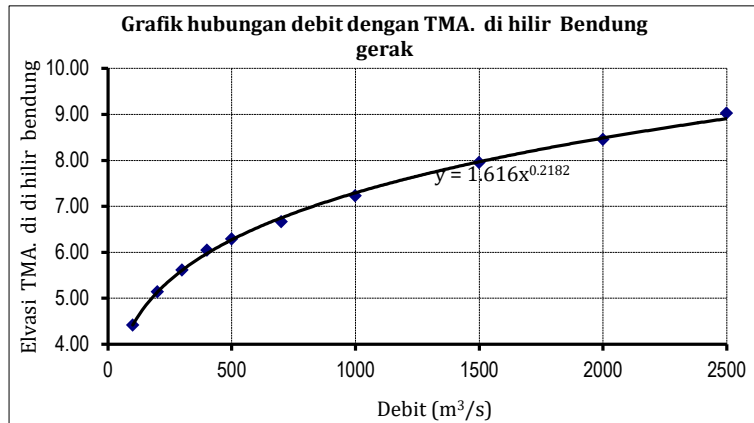


Gambar 2 Rencana pembangunan PLTM di sebelah kanan Bendung Gerak Serayu

Tabel 1 Data debit aliran di Sungai Serayu (m³/s)

Tahun	Juni		Juli		Agustus		September		Oktober	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1999	399	362	352	277	274	241	205	230	298	401
2000	376	371	272	238	237	242	267	216	378	614
2001	466	310	331	397	309	277	319	364	553	656
2002	393	345	339	176	56	53	54	22	42	45
2003	83	69	38	32	23	15	21	48	161	235
2004	100	48	92	54	18	11	13	27	32	55
2005	61	136	90	62	41	27	19	185	124	345
2006	156	39	25	24	20	21	22	22	24	29
2007	91	57	47	34	29	27	17	8	22	49
2008	41	37	28	27	28	24	22	21	68	134
2009	173	40	28	24	23	14	17	17	36	94
2010	86	106	105	55	42	52	339	135	118	190

Sumber : Laporan OP tahun 2011, BBWS Serayu-Opak



Sumber : Laporan Elevasi Debit Harian Sungai Serayu Dan Irigasi di Bendung Gerak Serayu Dari tahun 1999 sampai 2010

Gambar 3 Lengkung debit di hilir Bendung Gerak Serayu

Gambar 3 digunakan untuk pengaturan tinggi muka air pada saat *running* uji model fisik. Dalam *running* pada uji model fisik, dengan mengoperasikan pintu bendung gerak dan beberapa variasi debit aliran, dapat diketahui beda tinggi muka air (Δh) antara hulu dan hilir bendung. Beda tinggi muka air ini yang nantinya digunakan untuk menganalisa daya PLTM.

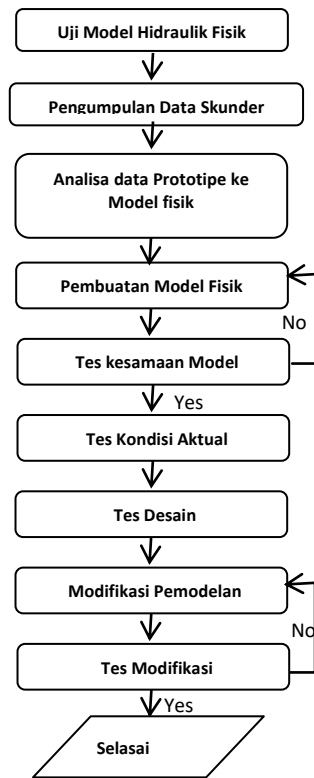
METODOLOGI

Metodologi dalam analisa pemanfaatan kelebihan air irigasi untuk PLTM pada Bendung Gerak Serayu ini dilakukan dengan uji model hidraulik fisik. Uji model hidraulik fisik dipilih dengan skala horizontal sama dengan vertikal yaitu 1:50, dan pemilihan skala ini berdasarkan atas keterbatasan fasilitas laboratorium dan tingkat ketelitian. Jenis kegiatan uji model tes ini meliputi:

- 1) pembuatan miniatur uji model fisik dengan skala 1:50, dengan menirukan bangunan fasilitas bendung gerak yang ada saat sekarang;
- 2) pengaliran (*running*) kondisi asli semula (*existing*) dengan mengacu pada pola operasi bukaan pintu bendung gerak dan pintu *intake* yang dilakukan di lapangan, yaitu dengan mengalirkan beberapa variasi debit aliran dari debit kecil (32 m³/s untuk kebutuhan debit irigasi) sampai debit maksimum (2450 m³/s) serta debit terbesar pada tahun 2000. Pengamatan yang dilakukan antara lain:
 - a) tinggi muka air di hulu dan di hilir bendung, sehingga dapat diketahui tinggi jatuh air (Δh) di bendung. Sebagai acuan tinggi muka air di hilir bendung dari data pengamatan di lapangan mulai tahun 1998 sampai 2008. (Buku laporan O&P tahun 2008, Proyek Pengembangan dan Konservsi Sumber Air Serayu Bogowonto)

dan acuan tinggi muka air di hulu bendung +12,90 m pada kondisi normal serta + 13,20 m kondisi tidak normal;

- b) pola aliran, untuk mengetahui lokasi lokasi tebing yang terserang arus dan sebagai dasar pembandingan bila adanya bangunan PLTM;
 - c) kecepatan aliran di hulu dan di hilir bendung, yang digunakan sebagai dasar pembandingan setelah PLTM dioperasikan, guna mengetahui terjadinya dampak hidraulik maupun dampak lingkungan.
- 3) pengaliran (*running*) tes desain setelah PLTM dioperasikan dengan mengamati:
 - a) tinggi muka air di hulu dan di hilir bendung, sehingga dapat diketahui tinggi jatuh air (*head* atau Δh) di bendung. Sebagai acuan, berdasarkan data pengamatan di lapangan mulai tahun 1998 sampai 2008, tinggi muka air di hulu bendung +12,90 m pada kondisi normal serta + 13,20 m pada kondisi tidak normal (Buku laporan O&P tahun 2008, Proyek Pengembangan dan Konservsi Sumber Air Serayu Bogowonto);
 - b) pola aliran, untuk mengetahui lokasi-lokasi tebing yang terserang arus setelah diopersionalkannya bangunan PLTM;
 - c) kecepatan aliran di hulu dan di hilir bendung setelah bangunan PLTM beroperasi, sehingga diketahui dampak yang terjadi;
 - d) pengukuran debit untuk masing-masing turbin, dengan variasi bukaan pintu turbin dan debit aliran, terutama untuk debit di musim kemarau, sehingga dari pengamatan ini bisa dibuat OP PLTM pada saat musim kering. Secara umum metode uji model fisik dilakukan seperti bagan alir pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Bagan alir metode pengkajian uji model hidraulik fisik

Data Yang Digunakan Untuk Pembuatan Uji Model Hidraulik (Umh) - Fisik

Untuk membuat miniatur bangunan bendung gerak beserta pelengkapannya atau biasa disebut model hidraulik fisik perlu data-data sebagai berikut:

1) Data untuk pembuatan model hidraulik fisik, antara lain berupa topografi hasil survei, gambar situasi Bendung Gerak Serayu, gambar potongan memanjang dan melintang sungai, gambar detail bangunan bendung, *intake*, kantong lumpur, dll, data teknis bendung dan PLTM, data hidrologi, seperti debit rencana (*Qr*), *rating curve (RC)*, gradasi material dasar sungai, Prosedur Operasi Baku Bendung (*Standard Operating Procedure*). Semua data ini telah disiapkan oleh Balai Besar Wilayah Sungai Serayu –Opak.

2) Data teknis Bendung Gerak Serayu

Bendung Gerak Serayu didesain untuk melayani daerah irigasi seluas kurang lebih 20.795 ha dengan debit pengambilan maksimum 32 m³/s dan direncanakan debit banjir rencana 100 tahun adalah 2.470 m³/s.

Data teknis bendung adalah sebagai berikut: panjang bendung 121,20 m, lebar bendung 109,60 m, pintu radial 8 buah 10,79 x 9,00 m, panjang

kolam olakan 40,00 m, lebar pintu *intake* 4 x 2,50 m, elevasi dasar pintu *intake* + 10,65 m, elevasi lantai dasar depan *intake* + 8,85 m, pintu penguras saluran irigasi 4 buah 2,50 x 2,00 m, muka air operasi +12,90 m, plat lantai bangunan + 15,00 m, debit pengurasan 24 m³/s.

3) Data teknis PLTM

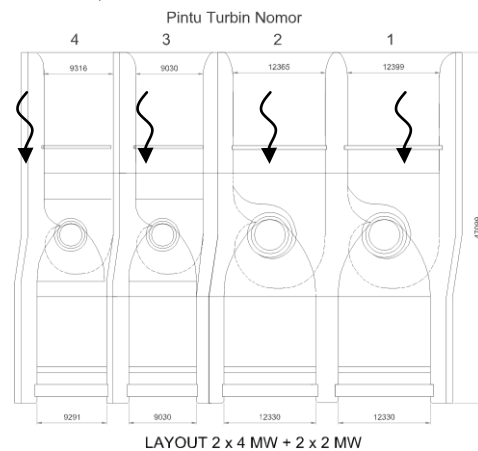
Data teknis PLTM Serayu adalah sebagai berikut: PLTM Serayu terdiri dari 2 turbin berdiameter 4.110 mm, dengan masing-masing kapasitas 4 MW dan 2 turbin berdiameter 3.010 mm dengan masing-masing kapasitas 2 MW; lebar saluran PLTM 52,77 m, yang terdiri dari 2 lubang turbin besar berukuran 2 x 12,33 m dan 2 lubang turbin kecil berukuran 2 x 9,03 m. *Lay-out* dan potongan memanjang PLTM dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Program Pengaliran Uji Model Hidraulik Fisik

1) Tes kesamaan (*similarity*) model

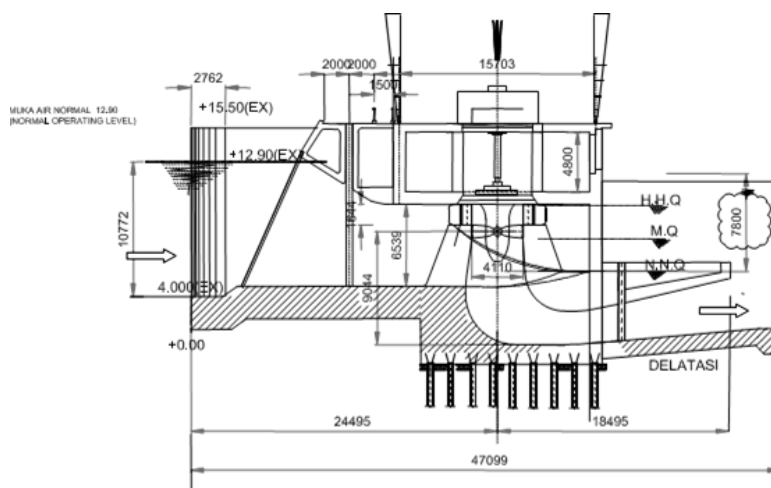
Tes kesamaan model yaitu menyamakan angka koefisien *Manning* antara kondisi di lapangan dengan di model. Pada umumnya angka kekasaran di model masih lebih kecil (lebih halus) dibandingkan dengan lapangan, sehingga perlu adanya penambahan kekasaran di model. Kesamaan model dinyatakan sebagai kesatuan tinggi muka air antara model dan prototipe pada berbagai debit yang sama.

Untuk mendukung tes kesamaan antara kondisi lapangan dengan model, perlu dilakukan perhitungan tinggi muka air arah memanjang sungai dengan rumus *standard step method*, yang telah dikembangkan dengan bantuan program *HEC-RAS*. Penyesuaian kekasaran *Manning (n)* pada alur sungai dilakukan dengan pengaliran *Q = 500 m³/s*, yang memperoleh harga *n* alur sebesar 0,028; dan *Q = 2500 m³/s*, yang memperoleh harga *n* bantaran 0,035.



(sumber: LAPI ITB, 2010)

Gambar 5 Posisi lubang turbin tampak atas



(sumber: LAPI ITB, 2010)

Gambar 6 Saluran turbin potongan memanjang

Dari hasil pengamatan tinggi muka air di model harus sama dengan hasil analisis perhitungan, bila belum sesuai maka perlu penambahan kekasaran secara *trial and error*. Jika hasil pengamatan di model sama dengan hasil perhitungan tinggi muka air, maka dianggap kondisi kekasaran koefisien *Manning* di model sudah sama dengan di lapangan.

2) Prosedur pengaliran model seri I (tes kondisi asli)

Program pengaliran yang akan dilakukan model seri I antara lain:

- a pengoperasian dua pintu pembilas dengan mempertahankan tinggi muka air di hulu bendung +12,90 m dan +13,20 m. Debit *intake* dipertahankan sebesar 32 m³/s dan pintu bendung gerak lainnya ditutup (pintu no: 3, 4, 5, 6, 7, 8 ditutup). Debit maksimum pintu bendung gerak 220 m³/s (*mengacu Petunjuk OP Bendungan Serayu 2007*);
- b tes bukaan pintu bendung gerak, dengan variasi tinggi bukaan pintu dan debit aliran, tetapi dengan acuan tinggi muka air di hulu bendung gerak selalu +12,90 m dan +13,20 m. Sistem bukaan pintu dua pintu bagian tengah dibuka lebih tinggi dari pintu kanan dan kirinya (bertangga, dengan selisih beda tinggi tangga 30 cm);
- c membuat *rating curve* hubungan antara debit pintu bendung gerak dengan beda tinggi muka air di hulu dan di hilir bendung gerak;
- d pengamatan hidraulik yang terdiri dari: tinggi muka air, pola aliran, distribusi kecepatan aliran dengan pintu bendung gerak yang dioperasikan sesuai kondisi OP di lapangan untuk debit 500 m³/s dan 1500 m³/s;

- e Pergerakan sedimen untuk mengetahui kecenderungan pengendapan. Tes dilakukan dengan debit aliran 500 m³/s dan 1500 m³/s.

3) Prosedur pengaliran model seri II (tes desain)

Tes desain dilakukan pengaliran dengan memasang bangunan PLTM, untuk Seri II ini tanpa dipasang turbin. Program pengamatannya antara lain:

- a tes kapasitas debit untuk masing-masing atau kombinasi lubang turbin, dengan ketetapan tinggi muka air di hulu (*upstream*) +12,90 m kondisi normal dan +13,20 m kondisi tidak normal;
- b pengoperasian bukaan pintu bendung gerak dengan variasi debit pintu bendung gerak, dengan ketetapan tinggi muka air di hulu (*upstream*) +12,90 m kondisi normal dan +13,20 m kondisi tidak normal. Sistem bukaan pintu dua pintu bagian tengah dibuka lebih tinggi dari pintu kanan dan kirinya (bertangga, selisih beda tinggi tangga 30 cm);
- c membuat *rating curve* hubungan antara debit pintu bendung gerak dengan beda tinggi muka air di hulu dan di hilir bendung gerak;
- d pengamatan hidraulik yang terdiri: tinggi muka air, pola aliran, distribusi kecepatan aliran pintu bendung gerak dioperasikan sesuai kondisi OP di lapangan, untuk debit 500 m³/s dan 1500 m³/s.

HASIL TES UJI MODEL HIDRAULIK FISIK

Tes kesamaan model fisik

Kondisi model fisik sesuai dengan kondisi di lapangan (sebelum ada bangunan PLTM) dan model fisik dibuat dengan dasar tetap. Jenis

pengamatan yang dilakukan adalah penyesuaian kekasaran dasar sungai dengan mengamati tinggi muka air arah memanjang, dengan anggapan :

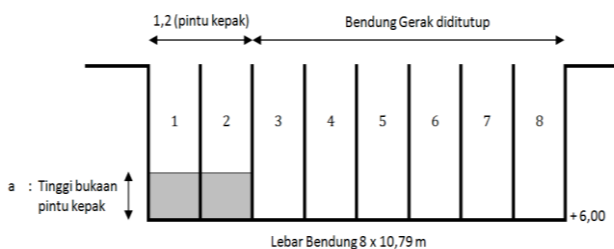
- 1) debit 500 m³/s (debit alur penuh) untuk penyesuaian kekasaran manning (n_1) di alur sungai = 0,028;
- 2) debit 2500 m³/s (debit banjir) untuk penyesuaian kekasaran manning (n_2) di bantaran = 0,035.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa untuk mencapai nilai tinggi muka air (TMA) hasil pengamatan di model sama dengan nilai tinggi muka air dari perhitungan, perlu dilakukan pengaliran di model berulang dengan memberi kekasaran secara *trial and error* sehingga akan didapat hasil pengamatan tinggi muka air di model sama dengan tinggi muka air dari perhitungan. Hasil akhir pengaliran penyesuaian kekasaran ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Tinggi muka air untuk kesamaan model fisik

Sta	TMA Perhitungan (m)		TMA Hasil Pemodelan (m)		Perbedaan TMA (m)	
	Debit (m ³ /s)		Debit (m ³ /s)		Debit (m ³ /s)	
	500	2500	500	2500	500	2500
1	4,08	6,05	4,03	6,11	0,05	-0,06
2	4,24	6,13	4,19	6,17	0,05	-0,04
3	4,25	6,28	4,21	6,29	0,04	-0,01
4	4,96	6,93	4,99	6,92	-0,02	0,01
5	5,66	7,15	5,62	7,15	0,05	0,00
6	5,83	7,21	5,83	7,22	0,01	-0,01
7	5,98	7,48	6,03	7,49	-0,05	-0,01
8	6,08	7,61	6,12	7,64	-0,04	-0,03
9	6,16	7,73	6,21	7,77	-0,05	-0,04
10	6,23	7,98	6,24	8,00	-0,01	-0,02
11	6,25	8,00	6,29	8,04	-0,03	-0,04
12	6,26	7,98	6,28	7,97	-0,02	0,01
13	6,33	8,10	6,32	8,11	0,02	-0,01
14	6,35	8,17	6,34	8,14	0,01	0,03
15	6,40	8,20	6,39	8,18	0,01	0,02

Sehubungan dengan perbedaan tinggi muka air antara perhitungan dengan hasil



Gambar 7 Sketsa tampang melintang bendung gerak

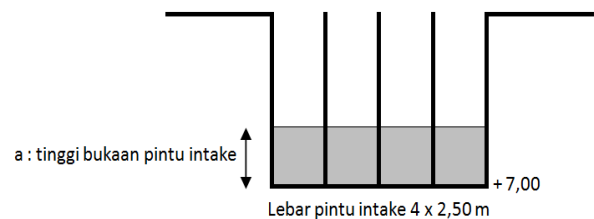
pengamatan di model fisik setelah dilakukan pemberian kekasaran secara *trial and error* mempunyai perbedaan kurang lebih 5 cm, maka model fisik dianggap sudah sama dengan kondisi di lapangan dan pengujian hidraulik lainnya dapat dilanjutkan.

Tes uji model hidraulik fisik seri I (kondisi eksisting)

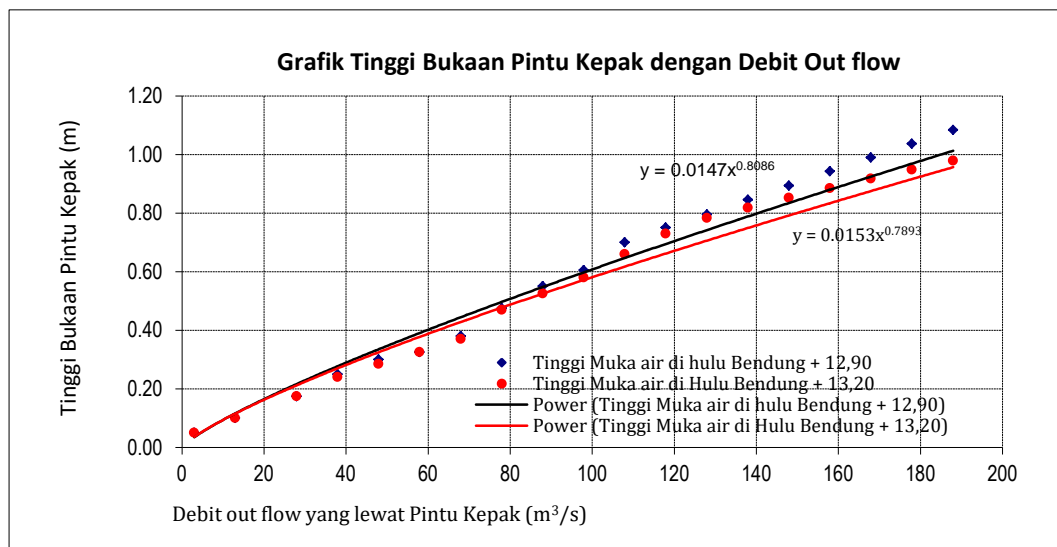
Model fisik Seri I adalah kondisi fisik model sungai seperti kondisi fisik di lapangan (bangunan bendung gerak, *intake* irigasi beserta kantong lumpurnya). Model fisik dibuat dengan dasar tetap. Jenis pengamatannya adalah pengoperasian dua pintu Pembilas yang diatur sedemikian rupa sehingga tinggi muka air di hulu bendung pada +12,90 m dan +13,20 m. Debit *intake* dipertahankan 32 m³/s dan pintu bendung lainnya (pintu no: 3, 4, 5, 6, 7, 8) ditutup.

Ketentuan pengaturan pengoperasian dua pintu pembilas dan pintu *intake* adalah sebagai berikut:

- 1) untuk debit sungai Serayu kecil, maksimum 250 m³/s;
- 2) debit *intake* selalu 32 m³/s;
- 3) tinggi muka air di hulu bendung dipertahankan pada elevasi +12,90 m dan +13,20 m (mengacu Petunjuk OP Bendungan Serayu 2007);
- 4) kelebihan debit dilewatkan pada pintu pembilas (pintu no 1 dan 2);
- 5) tinggi bukaan pintu *intake* dibuat sama (seragam tingginya);
- 6) tinggi bukaan pintu kepak (pembilas) dibuat sama tinggi;
- 7) pengamatan operasi bukaan pintu pembilas di model dimulai dari debit 35 m³/s sampai debit 220 m³/s, dengan interval debit 10 m³/s. Hasil pengamatan operasi bukaan pintu *intake* dan pintu pembilas, debit total *inflow* < 220 m³/s disajikan pada Tabel 3. Dari data hasil pengamatan operasi bukaan pintu *intake* dan pintu pembilas, untuk mempermudah informasi, data ditampilkan bentuk grafik pada Gambar 9.



Gambar 8 Sketsa tampang melintang pintu *intake*



Sumber : Hasil penyelidikan di Lab. Sungai, Balai Sungai Surakarta 2011

Gambar 9 Grafik bukaan pintu Pembilas di bendung gerak Serayu, untuk debit < 250 m³/s

Tabel 3 Data pengamatan operasi pintu intake dan pintu pembilas

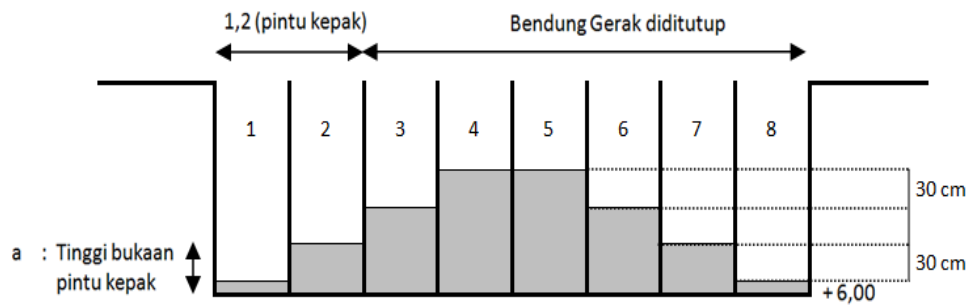
No	Q. total Inflow (m ³ /s)	Q. irigasi (m ³ /s)	Q. Pintu Pembilas Bendung Gerak (m ³ /s)	Bukaan Pintu, TMA di hulu +12,90m		Bukaan Pintu, TMA di hulu +13,20m	
				Intake	Pembilas	Intake	Pembilas
1	35	32	3	0,85	0,05	0,83	0,05
2	45	32	13	0,85	0,10	0,83	0,10
3	60	32	28	0,85	0,18	0,83	0,18
4	70	32	38	0,85	0,25	0,83	0,24
5	80	32	48	0,85	0,30	0,83	0,29
6	90	32	58	0,85	0,33	0,83	0,33
7	100	32	68	0,85	0,38	0,83	0,37
8	110	32	78	0,85	0,48	0,83	0,47
9	120	32	88	0,85	0,55	0,83	0,53
10	130	32	98	0,85	0,61	0,83	0,58
11	140	32	108	0,85	0,70	0,83	0,66
12	150	32	118	0,85	0,75	0,83	0,73
13	160	32	128	0,85	0,80	0,83	0,78
14	170	32	138	0,85	0,84	0,83	0,82
15	180	32	148	0,85	0,89	0,83	0,85
16	190	32	158	0,85	0,94	0,83	0,89
17	200	32	168	0,85	0,99	0,83	0,92
18	210	32	178	0,85	1,04	0,82	0,95
19	220	32	188	0,84	1,08	0,82	0,98

Tes bukaan pintu bendung gerak dilakukan dengan memvariasikan bukaan pintu bendung gerak dan debit aliran, dengan acuan tinggi muka air di hulu bendung gerak selalu +12,90 m dan +13,20 m. Hasil operasi bukaan pintu bendung gerak disampaikan dalam Tabel 4. Ketentuan operasi pintu adalah sebagai berikut :

- 1) tinggi muka air di hulu bendung ditetapkan +12,90 m kondisi normal dan 13,20 m untuk kondisi luar biasa;

- 2) dalam operasi pintu dibuka atau ditutup dengan interval beda tinggi bukaan pintu 30 cm untuk enam tangga (Pintu nomor 8,1; 7,2; 6,3; 4,5) atau kebalikannya yang dimulai dibuka pintu 8,1 dulu baru berurut 7,2; 6,3; dan 4,5 dibuka yang paling terakhir.

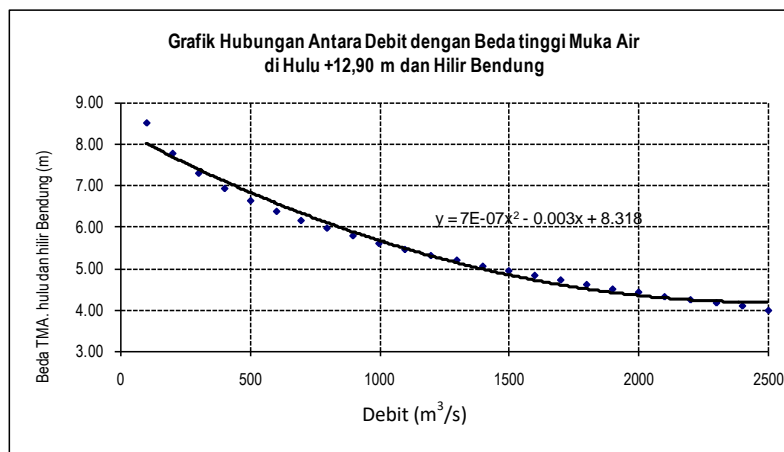
Untuk mengetahui besarnya beda tinggi muka air antara hulu dan hilir bendung gerak pada setiap debit aliran ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 11.



Gambar 10 Operasi bukaan pintu bendung gerak yang dilakukan di uji model fisik

Tabel 4 Tinggi bukaan pintu bendung gerak dengan tinggi muka air di hulu kondisi normal +12,90 m

No	Debit (m ³ /s)			Tinggi bukaan pintu (m)			TMA. di d/s Bd. di (Sta. 13)	Beda T MA. hulu dan hilir Bd.
	Total	Intake	Bd. Gerak	Intake	Bd. Gerak			
1	100	32	68	0,85	No. 4, 5	0,30	4,41	8,49
					No. 3, 6	0,13		
					No. 2, 7	0,00		
					No. 1, 8	0,00		
2	200	32	168	0,85	No. 4, 5	0,60	5,14	7,76
					No. 3, 6	0,30		
					No. 2, 7	0,10		
					No. 1, 8	0,00		
3	400	32	368	0,83	No. 4, 5	0,90	6,05	6,85
					No. 3, 6	0,60		
					No. 2, 7	0,30		
					No. 1, 8	0,25		
4	500	32	468	0,83	No. 4, 5	1,20	6,29	6,61
					No. 3, 6	0,90		
					No. 2, 7	0,60		
					No. 1, 8	0,16		
5	700	0	700	0	No. 4, 5	1,50	6,66	6,24
					No. 3, 6	1,20		
					No. 2, 7	0,90		
					No. 1, 8	0,42		
6	1000	0	1000	0	No. 4, 5	2,10	7,23	5,67
					No. 3, 6	1,80		
					No. 2, 7	1,50		
					No. 1, 8	1,02		
7	1500	0	1500	0	No. 4, 5	3,00	7,69	5,21
					No. 3, 6	2,70		
					No. 2, 7	2,40		
					No. 1, 8	2,07		
8	2000	0	2000	0	No. 4, 5	4,20	8,46	4,44
					No. 3, 6	3,90		
					No. 2, 7	3,60		
					No. 1, 8	2,48		
9	2500	0	2500	0	No. 4, 5	5,10	9,03	3,87
					No. 3, 6	4,80		
					No. 2, 7	4,50		
					No. 1, 8	3,23		



Gambar 11 Grafik debit aliran dengan beda tinggi muka air di hulu +12,90 dan hilir bendung gerak

Model seri II (desain)

Model seri II (desain) adalah model fisik bendung gerak Serayu pada kondisi asli (*existing*) ditambah dengan rencana adanya bangunan PLTM. Model dibuat dengan dasar tetap dengan ketentuan operasi bukaan pintu PLTM untuk pengaliran uji model fisik adalah sebagai berikut:

- 1) tinggi muka air di hulu bendung gerak selalu dipertahankan +12,90 m dan 13,20 m;
- 2) dengan anggapan bila debit *inflow* dari hulu lebih besar dari 500 m³/s, pintu *intake* ditutup;
- 3) apabila mengoperasikan pintu bendung gerak, pintu bagian tengah (pintu nomor 4 dan 5) dibuka lebih tinggi;
- 4) apabila debit sisa dari irigasi kurang dari 32 m³/s, maka Turbin yang dioperasikan pada PLTM hanya satu turbin yang berdimensi kecil (no. 3 atau no. 4) saja;
- 5) apabila debit sisa dari irigasi antara 32 - 64 m³/s, maka turbin yang dioperasikan pada PLTM satu turbin yang berdimensi besar (no. 1 atau no. 2) atau dua turbin dimensi kecil no. 3 dan no. 4;
- 6) apabila debit sisa dari irigasi antara 64 - 96 m³/s, maka turbin yang dioperasikan pada PLTM satu turbin yang dimensi besar (no. 1 atau no. 2) dan turbin dimensi kecil no. 3 atau no. 4;
- 7) apabila debit sisa dari irigasi antara 96 - 128 m³/s, maka turbin yang dioperasikan pada PLTM dua turbin yang dimensi besar (no. 1 dan no. 2) atau satu turbin besar no. 1 atau no. 2 dan turbin kecil no. 3 atau no. 4;
- 8) apabila debit sisa dari irigasi antara 128 - 160 m³/s, maka turbin yang dioperasikan pada PLTM adalah dua turbin dimensi besar

(no. 1 dan no. 2) dan satu turbin kecil no. 3 atau no. 4;

- 9) apabila debit sisa dari irigasi antara 160 - 192 m³/s, maka turbin yang dioperasikan pada PLTM dua turbin yang dimensi besar (no. 1 dan no. 2) dan dua turbin kecil no. 3 dan no. 4;
- 10) apabila debit sisa dari irigasi lebih besar 192 m³/s, maka turbin yang dioperasikan pada PLTM dua turbin yang dimensi besar (no. 1 dan no. 2) dan dua turbin kecil no. 3 dan no. 4 dan mengoperasikan pintu bendung gerak yang dimulai pintu bendung gerak bagian tengah no. 4 dan no. 5 lebih dulu.

Tujuan dari pengamatan uji model seri II ini adalah:

- 1) untuk mengetahui beda tinggi muka air di hulu dan di hilir PLTM, serta operasi bukaan pintu bendung gerak;
- 2) untuk mengetahui debit yang melalui setiap lubang turbin (Rumah Siput) PLTM;
- 3) untuk mengetahui dampak pola aliran di hilir PLTM.

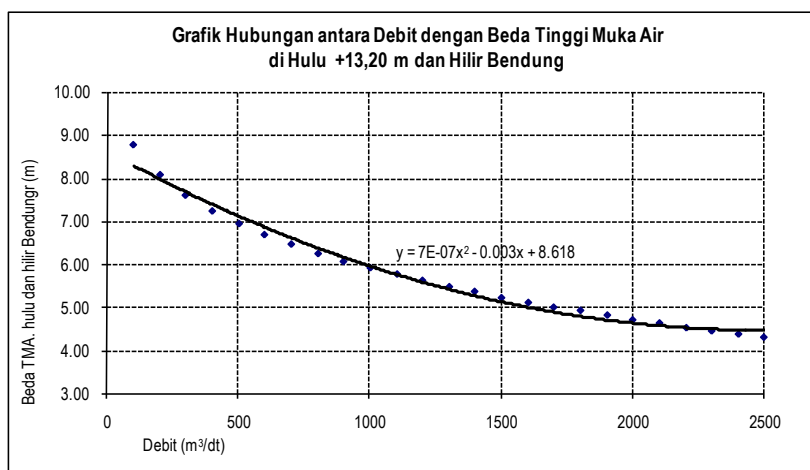
Operasi bukaan pintu bendung gerak dan pintu PLTM bertujuan untuk mengetahui beda tinggi muka air di hulu dan di hilir bendung gerak, dengan ketentuan tinggi muka air di hulu bendung gerak di tetapkan pada elevasi +12,90 m dan +13,20 m dengan bermacam-macam variasi debit aliran. Hasil pengujian disampaikan dalam Tabel 5.

Untuk lebih jelasnya, beda tinggi muka air antara hulu dan hilir bendung gerak pada setiap debit aliran yang diperoleh dari pengaliran model seri II A ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 12.

Tabel 5 Operasi bukaan pintu bendung gerak dan pintu PLTM, tinggi muka air di hulu bendung +13,20 m

No	Debit (m ³ /s)				Tinggi Bukaan Pintu (m)				Elevasi Muka Air (m)		Beda TMA (m)	
	Total	Intake	Bd. Gerak	PLTM	Intake	Bd. Gerak	PLTM	Hulu Bd.	Hilir Bd.			
1	50	32	0	18	0,825	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	0,00 0,00 0,00 0,00	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	0,00 0,00 0,73 0,00	12,90	4,46	8,44
2	100	32	0	68	0,825	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	0,00 0,00 0,00 0,00	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	0,00 0,60 0,75 0,00	12,90	4,85	8,05
3	150	32	0	118	0,825	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	0,00 0,00 0,00 0,00	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 0,00 0,00	12,90	5,15	7,75
4	200	32	0	168	0,825	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	0,00 0,00 0,00 0,00	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 2,00	12,90	5,42	7,48
5	250	32	0	218	0,825	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	0,00 0,00 0,00 0,00	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	5,70	7,20
6	300	32	76	192	0,825	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	0,24 0,00 0,00 0,00	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	5,82	7,08
7	400	32	176	192	0,825	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	0,60 0,13 0,00 0,00	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	6,00	6,90
8	500	32	276	192	0,825	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	0,60 0,30 0,29 0,00	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	6,33	6,57
9	700	0	508	192	0	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	1,20 0,90 0,60 0,26	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	7,00	5,90
10	1000	0	808	192	0	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	1,80 1,50 1,20 0,34	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	7,70	5,20
11	1500	0	1308	192	0	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	3,00 2,70 2,40 1,25	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	8,66	4,24
12	2000	0	1808	192	0	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	3,90 3,60 3,30 1,65	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	9,24	3,66
13	2320	0	2128	192	0	No. 4, 5 No. 3, 6 No. 2, 7 No. 1, 8	4,80 4,50 4,20 1,72	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4	3,90 3,90 3,90 3,90	12,90	9,87	3,03

Sumber: Hasil pengamatan Uji model Fisik Balai Sungai Nop. 2011



Gambar 12 Grafik debit aliran dengan beda tinggi muka air di hulu +13,20 m dan hilir bendung gerak Model seri II

Tabel 6 Kapasitas debit untuk masing-masing lubang turbin (rumah siput) dengan dipasang turbin, tinggi muka air di hulu bendung +12,90 m

No	Q.total Inflow (m ³ /s)	Elevasi TMA. Di hilir BD. Gerak	Kebutuhan debit riel PLTM (m ³ /s)	Kondisi pintu PLTM				Beda TMA Hulu dan Hilir Bd.
				P.1	P.2	P.3	P.4	
1	32	4,55	29,54	x	x	x	open	8,35
2	32	4,59	27,59	x	x	open	x	8,31
3	64	4,79	59,85	x	open	x	x	8,11
4	64	4,75	58,73	open	x	x	x	8,15
5	64	4,85	57,23	x	x	open	open	8,05
6	96	4,95	90,20	x	open	x	open	7,95
7	96	4,98	88,25	x	open	open	x	7,92
8	96	5,00	88,54	open	x	x	open	7,90
9	96	5,04	86,60	open	x	open	x	7,86
10	128	5,22	119,70	open	open	x	x	7,68
11	128	5,25	116,14	open	x	open	open	7,65
12	128	5,18	117,80	x	open	open	open	7,72
13	160	5,32	149,20	open	open	x	open	7,58
14	160	5,37	147,25	open	open	open	x	7,53
15	192	5,57	176,80	open	open	open	open	7,33

Sumber: Hasil pengamatan Uji model Fisik Balai Sungai Nop. 2011

Lubang Turbin (Rumah Siput) PLTM mempunyai dimensi yang berbeda sesuai dengan kapasitas aliran yang direncanakan yaitu lubang yang kecil dapat mengalirkan debit 32 m³/s dan lubang yang besar mampu mengalirkan debit 64 m³/s. Mengingat bentuk pola aliran yang ada tidak tegak lurus dengan arah As PLTM, maka perlu dilakukan tes hidraulik dengan uji model hidraulik fisik.

Hasil pengamatan kapasitas debit untuk masing-masing lubang turbin dengan dipasang Turbin (model seri II), dengan variasi debit sungai, bukaan pintu PLTM, tinggi muka air di

hulu bendung gerak ditetapkan +12,90 m, hasilnya pada tabel 6.

PEMBAHASAN PERCOBAAN PENGALIRAN Model seri I (kondisi aktual)

Tujuan pengaliran model Seri I adalah untuk mengetahui parameter hidraulik saat kondisi aktual. Sebagai dasar pembandingan hidraulik setelah adanya bangunan PLTM, diharapkan kondisi morfologi sungai di sekitar bangunan bendung dan PLTM tetap terjaga stabilitasnya bila ditinjau dari segi hidraulik dan paling seperti kondisi aktual.



Gambar 13 Tes kondisi aktual (model seri I)

Pada saat debit sungai melebihi $32 \text{ m}^3/\text{s}$ hingga $220 \text{ m}^3/\text{s}$ dan bukaan pintu *intake* setinggi $0,83 \text{ m}$ untuk mengalirkan air irigasi sebesar $32 \text{ m}^3/\text{s}$, agar tinggi muka air hulu tetap pada elevasi $+12,90 \text{ m}$, maka pintu pembilas dioperasikan untuk mengalirkan kelebihan debit. Berdasarkan pengujian seri I, pintu pembilas dengan bukaan maksimum setinggi $0,75 \text{ m}$ mampu mengalirkan debit $220 \text{ m}^3/\text{s}$.

Operasi pintu pembilas selain untuk mengatur elevasi muka air hulu, juga berfungsi untuk membilas sedimen di depan pintu *intake* agar sedimen tidak masuk *intake*.

Operasi pintu bendung gerak dilakukan pada saat debit sungai di atas $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Sesuai dengan Standar Operasi Pemeliharaan (SOP) di lapangan, pengoperasian pintu bagian tengah dibuka lebih tinggi (guna menciptakan arus berada di tengah alur sungai), ternyata cukup efektif untuk menghindari gerusan lokal di dasar tebing sungai baik kanan maupun kiri. Meskipun pada debit $250 \text{ m}^3/\text{s}$ terjadi arus balik dan pusaran di sekitar sayap kanan kolam olakan sampai ujung saluran PLTM dan sekitar sayap kiri sampai ujung saluran pembilas, namun intensitasnya rendah sehingga tidak ada ancaman gerusan ataupun sedimentasi.

Beda tinggi muka air di hulu dan di hilir bendung yaitu pada debit kecil setinggi $8,50 \text{ m}$, dan pada debit banjir $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ setinggi $3,87 \text{ m}$ berpengaruh terhadap produksi energi PLTM. Dengan demikian, perhitungan produksi energi harus memperhitungkan variasi beda tinggi tersebut yang besarnya dipengaruhi oleh debit aliran sungai.

Kecepatan rata-rata vertikal maksimum di hulu bendung untuk debit $500 \text{ m}^3/\text{s}$ adalah $0,66 \text{ m/s}$, sedangkan di hilir bendung pada ujung saluran PLTM rencana adalah $1,36 \text{ m}^3/\text{s}$. Di hulu bendung cenderung terjadi sedimentasi, namun dengan adanya bukaan pintu bendung terjadi penggelontoran sedimen di depan (di hulu) pintu

nomor 1, 2, 3, 4 dan 8, sedangkan di depan pintu nomor 5, 6 dan 7 masih terjadi sedimentasi. Di bagian hilir bendung, akibat kecepatan aliran mencapai $1,36 \text{ m/s}$ perlu dipelajari kemungkinan terjadinya gerusan lokal melalui uji model dengan dasar bergerak.

Model seri II (tes desain)

Tujuan pengaliran model seri II (tes desain) adalah:

- 1) untuk mengetahui kapasitas debit tiap-tiap lubang turbin, mengingat lubang turbin ada empat, dua lubang turbin berdiameter 4110 mm dan dua lubang turbin berdiameter 3010 mm atapun secara kombinasi lubang turbin;
- 2) untuk mengetahui beda tinggi muka air antara hulu dan hilir bendung (dh);
- 3) dampak aliran akibat saluran PLTM terhadap morfologi sungai khususnya di hilir bendung.



Gambar 14 Tes kondisi desain (model seri II)

Kapasitas debit PLTM yang direncanakan untuk dua daya 4 MW dengan lubang turbin berdiameter 4110 mm sebesar $64 \text{ m}^3/\text{s}$ dan dua daya 2 MW dengan lubang turbin berdiameter 3010 mm sebesar $32 \text{ m}^3/\text{s}$, ternyata dari hasil tes di laboratorium kapasitas alirannya lebih kecil dari yang direncanakan, yaitu terdapat penyimpangan kurang lebih 11% . Penyimpangan ini kemungkinan disebabkan oleh hal-hal antara lain sebagai berikut:

- a) dimensi lubang PLTM yang diaplikasikan di laboratorium berdiameter lebih kecil. Lubang turbin besar yang seharusnya berdiameter 4110 mm , diaplikasikan di laboratorium sebesar 3850 mm . Lubang turbin kecil yang direncanakan berdiameter 3010 mm diaplikasikan di laboratorium sebesar 2650 mm ;
- b) posisi as lubang PLTM arah melintang saluran tidak tegak lurus arah aliran (lubang PLTM bagian kanan berada di tikungan luar saluran).

Operasi bendung mengutamakan kebutuhan untuk irigasi dengan debit sebesar 32 m³/s. Mengingat kondisi musim basah atau musim kering muka air di hulu bendung gerak harus selalu dalam kondisi normal pada +12,90 m, maka menurut hasil tes laboratorium, semua pintu *intake* harus selalu dibuka setinggi 0,83 m.

Mengingat tingi muka air di hulu bendung selalu diatur pada elevasi +12,90 m, berdasarkan hasil uji model fisik diperoleh perbedaan tinggi muka air antara hulu dan di hilir bendung gerak setinggi 3,03 m pada musim banjir maksimum (debit 2400 m³/s) dan 8,44 m pada saat musim kering (debit 50 m³/s).

Pengoperasian PLTM tidak menimbulkan dampak yang signifikan pada perubahan aliran yang membahayakan tebing maupun dasar sungai. Akan tetapi pengoperasian bendung gerak akan berpengaruh pada pola aliran di hilir bendung gerak yang dapat menyebabkan keruntuhan tebing sungai di hilir bendung. Untuk mengurangi risiko runtuhnya tebing sungai di hilir bendung gerak, pembukaan pintu bendung gerak bagian tengah sebaiknya lebih tinggi dari pada pembukaan pintu gerak bagian tepi. Akibat adanya bangunan PLTM, pola aliran dari saluran PLTM tidak berpengaruh terhadap morfologi sungai di sekitar bendung gerak, tetapi perlu penyempurnaan tebing, yaitu pada ujung saluran PLTM dikepras dan dibuat *streamline*.

Model seri III (tes modifikasi)

Tujuan pengaliran model Seri III (tes desain) adalah:

- 1) untuk menyempurnakan bentuk pola aliran pada saluran PLTM di hulu lubang turbin, sehingga diharapkan debit yang lewat lubang turbin proposional;
- 2) menyempurnakan bentuk pola aliran pada saluran PLTM di hilir lubang turbin, sehingga diharapkan tebing salurn PLTM bagian kanan /kiri lebih stabil akibat serangan arus;
- 3) memprediksi pergerakan sedimen di hulu bendung;
- 4) memprediksi gerusan lokal di hilir lubang turbin.



Gambar 15 Tes kondisi modifikasi (model seri III)

Setelah diadakan modifikasi saluran PLTM di hulu dan di hilir turbin, distribusi debit yang masuk ke turbin hampir proposional dengan dimensi lubang turbin model seri II. (Tabel 6).

Pola pergerakan sedimen, antara kondisi model kondisi asli (seri I) dengan setelah adanya bangunan PLTM relatif tidak terjadi perubahan yang signifikan, yaitu:

- a) Kecenderungan terjadi sedimentasi di hulu pintu bendung gerak no: 5, 6, 7 arah ke hulu.
- b) Kecenderungan tidak terjadinya pengendapan di hulu pintu bendung gerak no: 1, 2, 3, 4 dan 8.

Demikian juga kecepatan aliran terutama di hilir saluran PLTM yaitu di Sta 14 antara kondisi asli dengan adanya PLTM relatif tidak mengalami perubahan.

KESIMPULAN

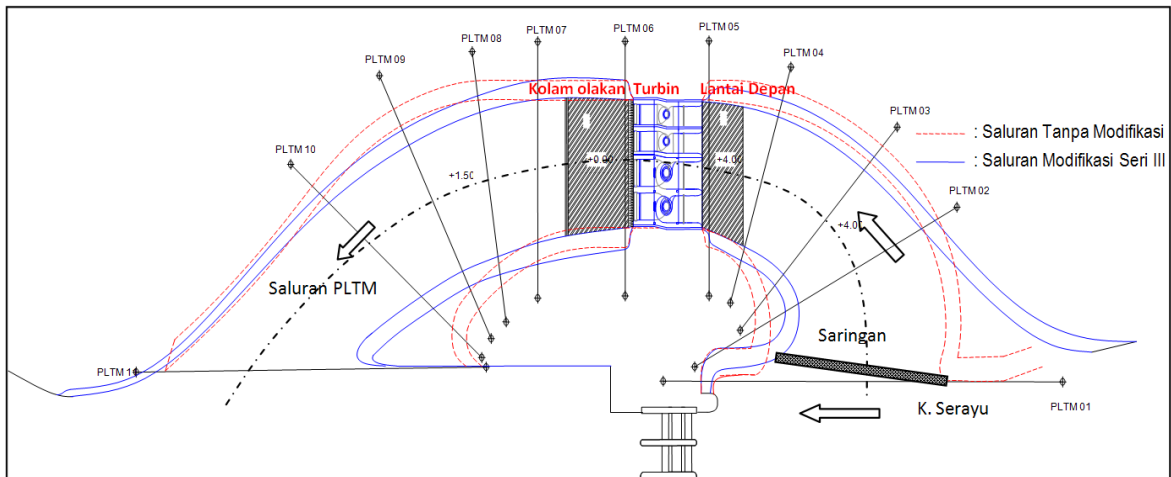
Berdasarkan pengujian model tes dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Kelebihan aliran air (setelah digunakan untuk memenuhi kebutuhan irigasi) dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM).

Daya PLTM yang dihasilkan dipengaruhi oleh perbedaan tinggi muka air antara hulu dan hilir. Pada kondisi normal (elevasi muka air hulu pada + 12,90 m), perbedaan tinggi muka air di hulu dan hilir bangunan PLTM untuk pengoperasian turbin berkisar antara 8,40 m (pada debit kecil) sampai 3,30 m (pada debit 2500 m³/s); sedangkan pada kondisi luar biasa (elevasi muka air hulu bendung pada 13,20 m) beda tinggi air berkisar antara 8,74 m (pada debit kecil) sampai 3,30. m (pada debit 2500 m³/s).

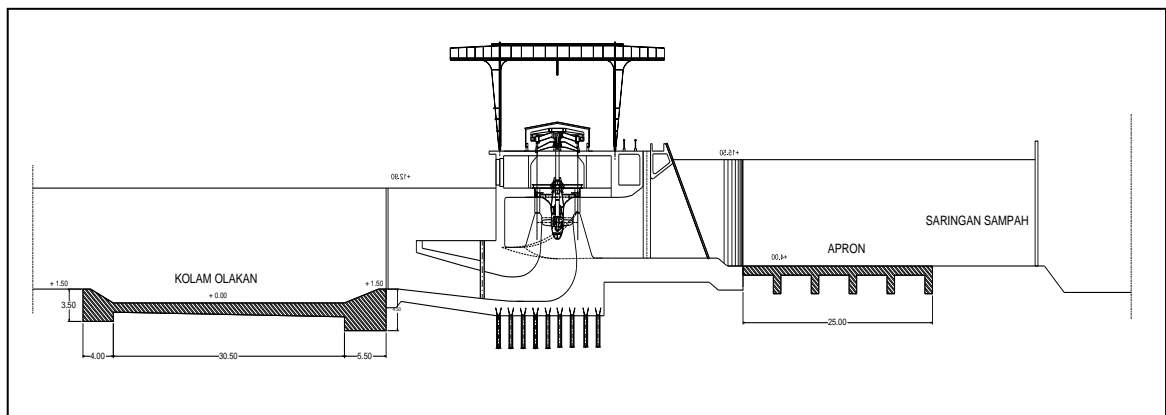
Besaran debit yang akan masuk ke lubang turbin memengaruhi keseragaman aliran, sehingga kecepatan aliran di hulu turbin belum merata. Guna memperbaiki distribusi debit yang masuk ke turbin agar mendekati proporsional dengan dimensi lubang turbin, perlu dilakukan modifikasi saluran PLTM di hulu dan di hilir turbin seperti usulan yang disajikan dalam Gambar 16.

Sampah cenderung akan terbawa masuk ke saluran PLTM, terutama pada saat bendung gerak ditutup, sehingga perlu dilengkapi dengan *trashrack* di hulu saluran PLTM.

Di hilir turbin cenderung terjadi gerusan lokal. Gerusan lokal di hilir bangunan PLTM diperkirakan mencapai panjang 18,60 m dengan kedalaman 2,00 m dari dasar rencana. Untuk mengurangi terjadinya gerusan lokal ini, diperlukan adanya kolam olakan atau bangunan peredam energi yang masif dengan panjang 40,00 m.



Gambar 16 Usulan modifikasi seri III saluran PLTM



Gambar 17 Sketsa tampak memanjang saluran PLTM

- 1) Hasil pembilasan saluran kantong lumpur, memberi gambaran hanya mampu membilas antara 30 % - 37 % dari volume endapan.
- 2) Ditinjau dari segi hidraulik, pengoperasian PLTM tidak menimbulkan dampak yang berarti terhadap morfologi sungai di sekitar bendung gerak, baik pada debit kecil, sedang maupun banjir besar. Akan tetapi pengoperasian bendung gerak akan berpengaruh pada pola aliran di hilir bendung gerak yang dapat menyebabkan keruntuhan tebing sungai di hilir bendung gerak. Untuk mengurangi risiko runtuhnya tebing sungai di hilir bendung gerak, pembukaan pintu bendung gerak bagian tengah sebaiknya lebih tinggi daripada pembukaan pintu gerak bagian tepi.
- 3) Kecenderungan tidak terjadinya pengendapan di hulu pintu bendung gerak no: 1, 2, 3, 4 dan 8. Sedangkan di hulu pintu bendung gerak no: 5, 6, 7, arah ke hulu cenderung terjadi sedimentasi.
- 4) Pembilasan sedimen di hulu bendung gerak pada debit 500 m³/s dengan membuka total semua pintu bendung cukup efektif untuk membilas endapan sedimen yang berada pada ketinggian di atas elevasi dasar pintu (+6.00), namun endapan di bawah elevasi +6.00 m sulit terbilas. Pada saat debit banjir antara 224 - 2000 m³/s, dilakukan operasi pembilasan dengan membuka total pintu bendung gerak selama kumulatif waktu 6 x 24 jam dalam setiap tahun sehingga tidak ada pembendungan.
- 5) Pada saat debit banjir melebihi 2000 m³/s pintu bendung gerak dibuka total, dengan tujuan untuk membilas sedimen di daerah hulu bendung dan mengurangi ancaman banjir di kota Banyumas yang terletak di sebelah hulu.
- 6) Pembilasan kantong lumpur dilakukan pada debit sungai 32 - 224 m³/s, karena muka air sungai di hilir bendung relatif rendah. Namun hal ini akan sedikit mengurangi alokasi air untuk PLTM.
- 7) Guna keterpaduan dalam pengoperasian dan pengaturan debit, pedoman operasi PLTM harus disesuaikan dengan pola Operasi dan

Pemeliharaan bendung gerak Serayu (sistem Operasi PLTM dibawah kendali O&P bendung gerak Serayu).

Untuk memperkecil dampak hidraulik di hilir bendung dan memproposionalkan debit yang masuk ke lubang turbin, saluran PLTM agar dimodifikasi sesuai dengan **Gambar 16**. Pada desain awal di hilir turbin tidak dilengkapi kolam olakan, berdasarkan hasil pengamatan gerusan lokal sangat diperlukan bangunan kolam olakan, untuk menjaga stabilitas bangunan PLTM. Mengingat aliran permukaan banyak membawa sampah, maka ujung depan saluran PLTM perlu dipasang saringan sampah (*screen*), sehingga turbin bisa operasi dengan lancar. Perlu tinjauan dampak dari getaran mesin PLTM, terhadap bangunan disekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, Hanan. 2008. Kerangka Acuan Kerja Penyusunan Pedoman Survei dan Monitoring Sedimentasi Waduk.
- Balai PSDA Serayu – Citanduy. 2007. Potensi Pendayagunaan Sumber Daya Air di Serayu-Citanduy, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air, Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Serayu Citanduy.
- Balai PSDA Serayu – Citanduy. 2007. Uraian Singkat Daerah Irigasi Bendung Gerak Serayu dalam Rangka Menerima Kunjungan Delegasi Pertanian Negara Laos, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air, Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Serayu Citanduy.
- Balai Sungai. 2010. Laporan Uji Model Hidraulik Fisik Spillway Waduk Wonogiri. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air.
- Balai Sungai. 2011. Laporan Uji Model Hidraulik Fisik PLTM pada Bendung Gerak Serayu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air.
- Edi Suwito. 2007–2011. Laporan Elevasi Debit Sungai Serayu dan Irigasi serta Curah Hujan di Bendung Gerak Serayu. Laporan Koordinator Perwakilan Bendung Gerak Serayu.
- Helmut Lauterjung, Gangolf Schmidt. 1989. Planing of Water Intake Structures for Irrigation of Hydropower. A Publication of GTZ-Postharvest Project in: Deutche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, p. 26-42.
- Hubert Chanson. 1999. The Hydraulic of Open Channel Flow. published by Arnold, 338 Euston Road, London NW1 3BH, UK, chapter 14, p. 262-267.
- Ircham. 1994. Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Bagian O, Synopsis dari Operasi Bendungan. DPU, Direktorat Jenderal Pengairan, Direktorat Bina Pelaksanaan Wilayah Tengah Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Serayu Bogowonto.
- Isnugroho. November 2008. The Role of Hydraulic Model Test in the Designing of Gate Operation for Bojonegoro Barrage, Journal Sumber Daya Air Vol. 4 No. 2.
- K.S. Yoou, et all. 2011. Two and three dimensional Hydraulic Model Test of Sluice Conveyance for a Tidal Power Plant Design. Journal of Coastal Research. ISSN 0749-0208, P. 636-640.
- LAPI Institut Teknologi Bandung. 2010. Desain PLTM pada Bendung Gerak Serayu.
- Proyek Pengembangan dan Konservasi Sumber Air Serayu Bogowonto. Desember 1994. Petunjuk Operasional dan Pemeliharaan Bagian O, Synopsis dari Operasi Bendungan.
- W. Summer, W. Stritzinger. 1994. The Impact of Run-off river Hydropower Plant on Temporal Suspendes Sediment Behaviour. Proceeding of the Canberra Symposium on Variability in Stream Erosion and Sediment Transport, IAHS Publ. No. 224, p. 416-417