

**PELUANG REVITALISASI PENGELOLAAN BENDUNG
DALAM MENJAWAB TANTANGAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK
(STUDI KASUS PENGELOLAAN BENDUNG PERJAYA)**

**OPPORTUNITIES OF REVITALIZATION OF DAM'S OPERATIONAL TO
SOLVE THE INCREASING OF ELECTRICITY DEMAND
(CASE STUDY : PERJAYA WEIR)**

Slamet Lestari

Peneliti Muda Bidang Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan, Pusat Litbang
Sumber Daya Air
Jl. Ir. H. Juanda 193 Bandung
E-mail : mamet_ind@yahoo.com

Diterima: 10 September 2014; Disetujui: 10 November 2014

ABSTRAK

Penelitian ini telah dilakukan untuk mengetahui peluang revitalisasi pengelolaan bendung dalam menjawab tantangan kebutuhan energi listrik. Lokasi penelitian, sebagai percontohan, adalah pada pengelolaan Bendung Perjaya di Sungai Koming, Propinsi Sumatera Selatan dengan data operasional bendung dari tahun 2000 sampai 2011. Penelitian ini menggunakan dua metode utama, yaitu analisis statistik / matematik dan analisis dengan model fisik. Hasil analisis menunjukkan bahwa Bendung Perjaya masih mempunyai sisa air dari mercu ke hilir dengan rata-rata debit antara 25,54 m³/s sampai 1079,17 m³/s. Air sisa tersebut mempunyai potensi daya PLTM/PLTA sebesar 31.576,00 Gwh per tahun dengan memanfaatkan bangunan pembangkit listrik. Bangunan pembangkit listrik ini dapat dibangun dengan memanfaatkan / memodifikasi bangunan yang ada tanpa mengganggu operasional bendung yang ada saat ini, tidak mengganggu kapasitas limpas banjir, dan tidak membawa dampak yang membahayakan lingkungan sungai di hilir bendung.

Kata kunci: *Revitalisasi, pengelolaan bendung, energi listrik, bangunan pembangkit listrik, limpas banjir*

ABSTRACT

The research had been done to know the opportunities of revitalization of barrage's operational to solve the increasing of electricity energy needing. The location of this research, as a pilot project, is at Perjaya Barrage, Koming River, south Sumatera Province base on operational data from 2000 to 2011. This research uses two methods : statistics / mathematics analysis and physical modeling analysis. The result of the analysis shows that Perjaya Barrage has remained water that can be generated to be 31,576.00 Gwh per year electricity energy. In order to generate electricity hydropower structure can be developed at the existing structure (with modification) without disturbs the existing operation, spill of barrage capacity, and negative impact to the environment (around the barrage).

Keywords: *Revitalization, barrage operational, electricity energy, hydropower structur, spill of barrage*

PENDAHULUAN

Salah satu tantangan dalam pengelolaan sumber daya air adalah memanfaatkan secara optimum potensi sumber daya air yang ada dan meminimalkan dampak negatif yang mungkin terjadi akibat pengelolaan sumber daya air yang dilakukan. Salah satu pemanfaatan sumber daya air yang selama ini dilakukan adalah melakukan pembendungan di sungai dan memanfaatkan

airnya untuk kebutuhan air irigasi dan atau air baku.

Dalam perkembangannya, seiring dengan berjalannya waktu dan pertumbuhan penduduk, terjadi perubahan pola pemanfaatan air di bendung. Kondisi morfologi sungai terjadi perubahan, daerah layanan irigasi semakin berkurang (untuk permukiman), dan tuntutan kebutuhan lain terutama kebutuhan energi listrik semakin besar. Salah satu dampak yang terlihat

antara lain banyak dijumpai adanya air sisa/limpasan yang belum termanfaatkan. Air sisa tersebut limpas begitu saja di atas mercu dan mengalir ke arah hilir sungai. Sebagai contoh, kondisi banyaknya air limpasan sisa yang belum dimanfaatkan ini, dijumpai pada pengelolaan Bendung Perjaya.

Dari pengamatan sepanjang pengoperasian bendung, selalu terlihat adanya limpasan air yang melewati mercu bendung. Selain itu, sistem Bendung Perjaya menunjukkan adanya beda tinggi antara muka air di udik dan di hilir bendung. Adanya debit limpasan dan beda tinggi yang ada memberikan peluang untuk memanfaatkan air sisa ini menjadi energi listrik. Gambaran kondisi Bendung Perjaya dan lingkungan di sekitarnya dapat dilihat dari Gambar 1 sampai Gambar 3.



Gambar 1 Kondisi Genangan Air di Udik Bendung Perjaya



Gambar 2 Kondisi Muka Air Tepat di Hilir Bendung Perjaya



Gambar 3 Kondisi Limpasan Air Sisa di Bendung Perjaya

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran adanya potensi pemanfaatan air di bangunan bendung yang masih dapat dioptimumkan, salah satu alternatif pemanfaatannya sebagai pembangkit energi listrik. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai referensi bagi pemangku kebijakan dalam melakukan pengelolaan sumber daya air lebih optimal.

TINJAUAN PUSTAKA

Potensi Pembangkitan Energi Listrik

Daya dari aliran air dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P = \rho g Q H \quad 1)$$

Keterangan:

P, daya hidraulik [Watt]

ρ , kerapatan massa air = 1000 kg/m³

g, percepatan gravitasi = 9,81 m/s²

H, tinggi energi efektif [m]

Q, debit [m³/s]

Daya listrik yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P_e = \eta P \quad 2)$$

Keterangan:

P_e , daya listrik [Watt]

η , efisiensi gabungan turbin dan generator

$$= \eta_t \eta_g$$

η_t , efisiensi turbin

η_g , efisiensi generator

Tinggi energi efektif (H) diperoleh dari tinggi energi total, yaitu beda tinggi antara elevasi muka air udik dengan hilir dari suatu terjunan dikurangi kehilangan-kehilangan energi sepanjang jalur aliran dari udik ke hilir. Secara umum tinggi energi efektif dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$H = H_t + v_o^2/2g - \sum \Delta h - v^2/2g \quad 3)$$

Keterangan:

H, tinggi energi efektif [m]

H_t , tinggi energi total [m]

$\sum \Delta h$, kehilangan energi total antara pintu pengambilan dan saluran pengeluaran di hilir *draft tube* [m]

v_o , kecepatan aliran di saluran masuk / penstock [m/s]

v , kecepatan aliran di saluran pelepas/pembuang di hilir draft tube [m/s]

$$H_t = H_{st} + \sum \Delta h$$

H_{st} , tinggi energi statik

Untuk turbin yang ditempatkan di saluran terbuka dan dilengkapi dengan *draft tube*, menurut Emil Monsonyi (1987), dalam bukunya "*Water Power Development, Volume 1-Low Head Power Plants*", untuk persamaan tersebut di atas diinterpretasikan sebagai berikut:

- 1 Karena pengukuran muka air di saluran dapat dilakukan dengan mudah, maka tinggi energi statik dapat langsung diukur, maka dari itu $\sum \Delta h = 0$.
- 2 Jika $v \approx v_0$, maka energi efektif sama dengan beda tinggi muka air udik dan hilir.
- 3 Dalam kenyataannya pada kasus tinggi energi rendah (*low head*), kehilangan energi sangat kecil dan dapat diabaikan, maka persamaan di atas menjadi $H = H_t$.

Kehilangan energi dihitung dengan menggunakan rumus-rumus pendekatan dari Buku "*Manual Small Scale Hydro-Power Generation, Japanese Institute of Irrigation and Drainage*", Volume 1 dan 2, Maret 1987, dihitung sebagai berikut :

Kehilangan energi total:

$$\Delta h_{1t} = 7 - 9\% H_t \quad 4)$$

Kehilangan energi pada intake, *settling basin*, saluran pembawa dan saluran pelepas :

$$\Delta h = 0,05 m \quad 5)$$

Kehilangan energi antara intake dan kolam tando :

$$\Delta h = 0,05 + L_1 \cdot I_1 \quad 6)$$

Keterangan :

L_1 , panjang saluran pemasukan [m]

I_1 , kemiringan saluran pemasukan

Kehilangan energi di saluran pelepas/pembuang (*tailrace*) :

$$\Delta h = L_2 \cdot I_2 \quad 7)$$

Keterangan :

L_2 , panjang saluran pelepasan [m]

I_2 , kemiringan saluran pelepasan

Kehilangan energi pada inlet turbin dll. :

$$\Delta h = 0,1 m \quad 8)$$

Analisis Uji Model Fisik

Model fisik biasanya dipakai untuk mensimulasi perilaku hidraulik pada prototip bangunan air (bendung, pelimpah bendungan/embung, pelindung sungai tak langsung/krib, penangkap sedimen dan lain-lain) yang direncanakan dengan skala kecil.

Uji model hidraulik dilakukan untuk menyelidiki perilaku hidraulik dari seluruh bangunan atau masing-masing komponennya.

Permasalahan yang ada dalam bidang mekanika fluida dan hidraulika seringkali diselesaikan dengan uji model hidraulik fisik. Oleh sebab itu karena sifat air yang kompleks dan banyak parameter yang belum / tidak dapat diperhitungkan dalam perencanaan awal, bangunan air yang akan dibangun di lapangan atau untuk bangunan air yang akan direhabilitasi, dianjurkan untuk menyelidiki parameter hidraulik (pola aliran air, kapasitas, gerusan lokal) dalam model fisik.

Prinsip penggunaan model merupakan suatu kondisi di mana memungkinkan untuk menirukan masalah nyata di lapangan pada skala yang lebih kecil. Pada kondisi tersebut fenomena pada pemodelan similar antara kondisi di model dan di lapangan.

Keserupaan/ similaritas mencakup beberapa aspek :

1 Similaritas geometri (*Geometric similarity*)

Keserupaan geometrik akan terpenuhi jika antara dimensi model dan panjang prototip mempunyai keterkaitan melalui sebuah skala (1 : n) sebagai berikut:

$$n_L = \frac{\text{panjang di prototipe}}{\text{panjang di model}} = \frac{L_p}{L_m} \quad 9)$$

2 Similaritas kinematik (*Kinematic similarity*)

Keserupaan kinematik akan terpenuhi jika antara dimensi model dan prototip mempunyai keterkaitan melalui garis-garis aliran air, seperti berikut:

$$n_v = \frac{\text{kecepatan di prototipe}}{\text{kecepatan di model}} = \frac{V_p}{V_m} \quad 10)$$

3 Similaritas dinamik (*Dynamic similarity*)

Keserupaan dinamik akan terpenuhi jika antara dimensi model dan prototip mempunyai keterkaitan melalui gaya-gaya yang bekerja, sebagai berikut:

$$n_F = \frac{\text{gaya di prototipe}}{\text{gaya di model}} = \frac{F_p}{F_m} \quad 11)$$

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini meliputi dua bagian utama, yaitu :

- 1 Evaluasi potensi energi dilakukan dengan metode analisis statistik dan perhitungan matematik.
- 2 Evaluasi penerapan bangunan pembangkit energi listrik dilakukan dengan analisis uji model fisik.

Tahapan utama yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengumpulan Data Rekaman Debit Sisa

Debit sisa yang dimaksud dalam penelitian ini adalah debit yang masih melimpas di mercu bendung, setelah diambil untuk kebutuhan air irigasi. Data yang dikumpulkan adalah data rekaman dari tahun 2000 sampai 2011 (kecuali data tahun 2002).

Dari data tersebut didapatkan hasil rata-rata debit minimum $Q_{\min} = 25,54 \text{ m}^3/\text{s}$, debit maksimum $Q_{\max} = 1079,17 \text{ m}^3/\text{s}$, dan debit rata-rata $Q_r = 150,10 \text{ m}^3/\text{s}$. Gambaran data debit rata-

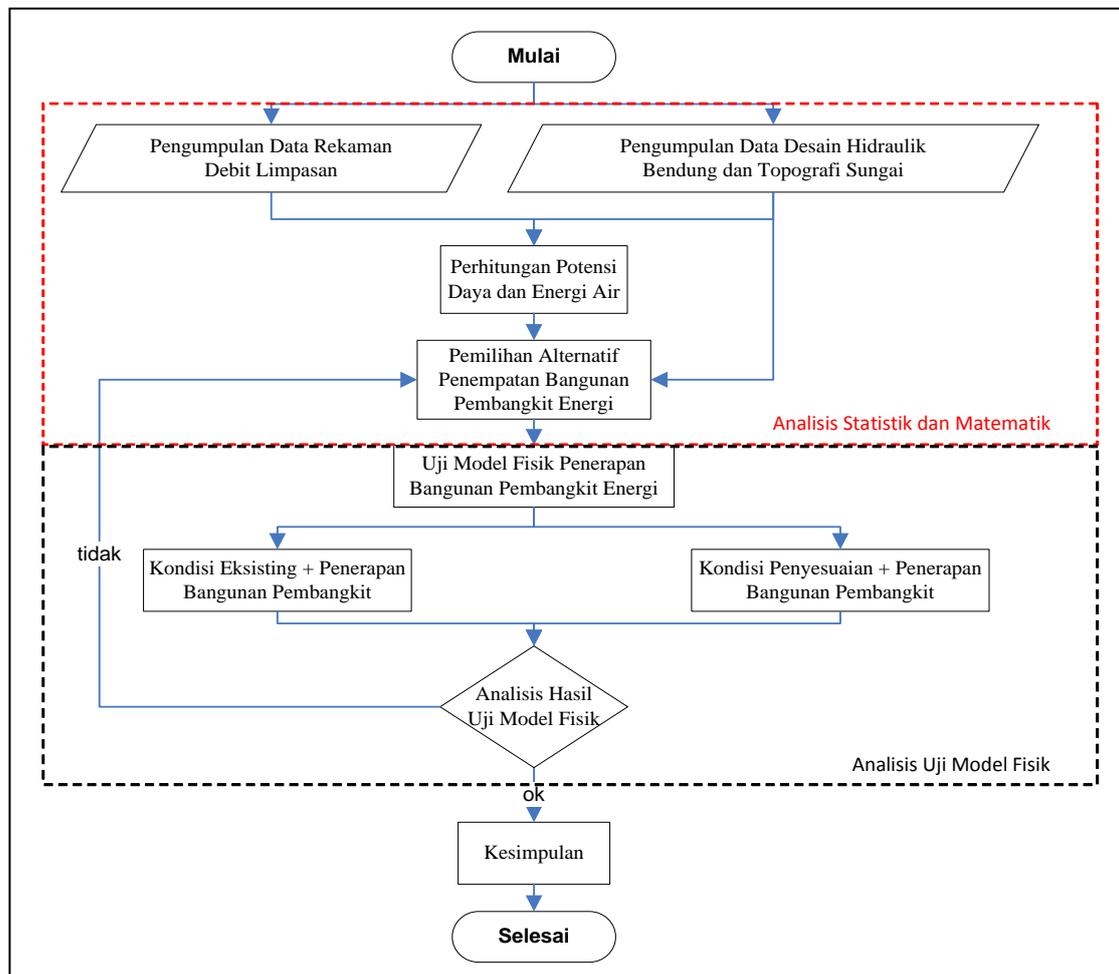
rata harian, komulatif tahunan, dan lengkung durasi-debit aliran (komulatif, rata-rata tahunan, tahun basah, dan tahun kering) dari debit sisa dapat dilihat dari Gambar 5 sampai Gambar 7.

Pengumpulan Data Desain Hidraulik Bendung dan Topografi Sungai

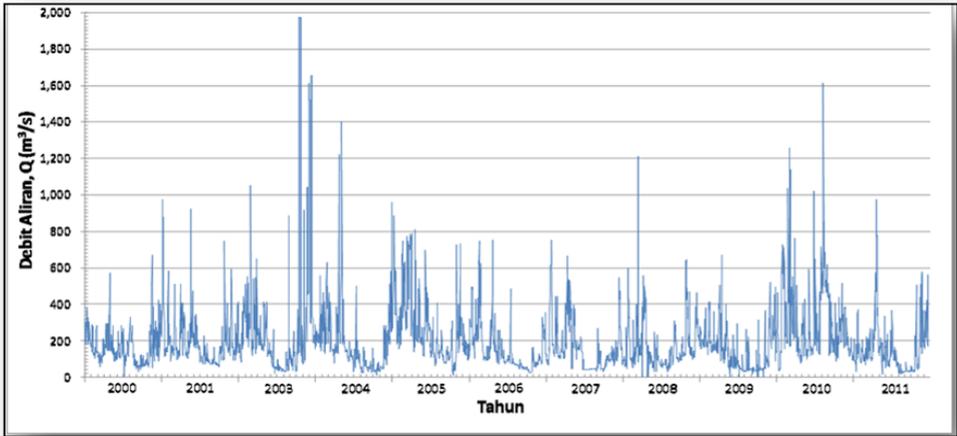
Data desain hidraulik Bendung Perjaya yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *as build drawing*. Data desain hidraulik Bendung Perjaya selengkapnya dapat dilihat dari Gambar 8 dan Gambar 9, sedangkan hubungan muka air dan debit di udik bendung disampaikan pada Gambar 10.

Dari nota desain yang ada juga didapatkan data debit desain banjir untuk Bendung Perjaya adalah, $Q_{100\text{th}} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$, dengan elevasi muka air minimal di udik bendung (untuk kebutuhan air irigasi), El. = +79,70.

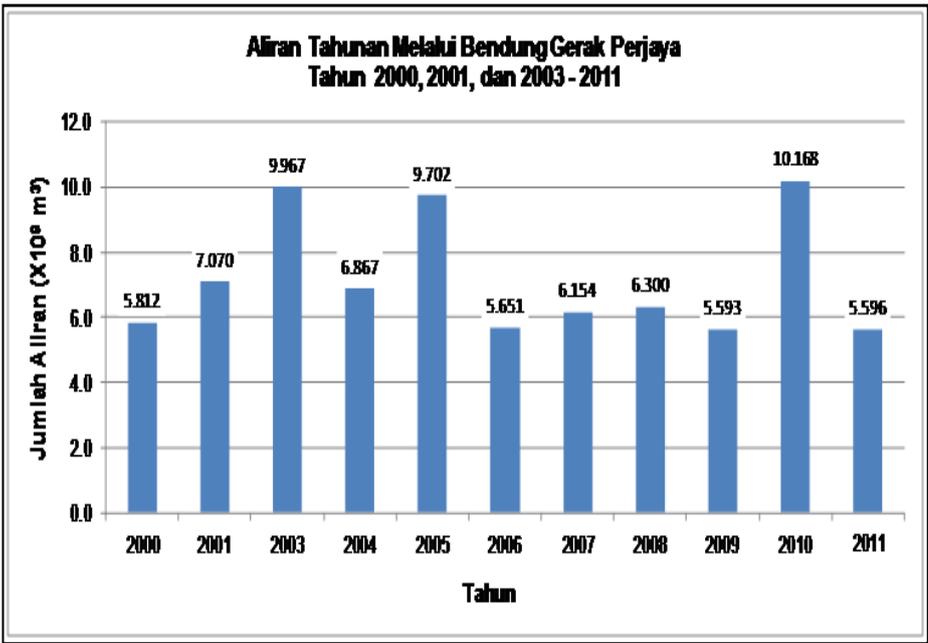
Data pengukuran topografi lapangan didapat dari hasil pengukuran tahun 2011 yang dilakukan oleh Puslitbang Sumber Daya Air. Gambaran kondisi topografi di sekitar Bendung Perjaya disampaikan pada Gambar 11.



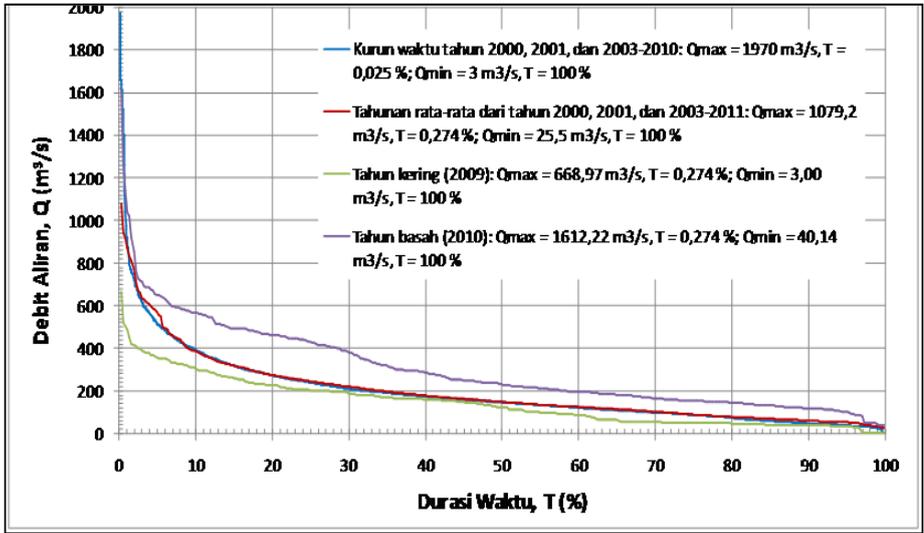
Gambar 4 Alur Tahapan Penelitian



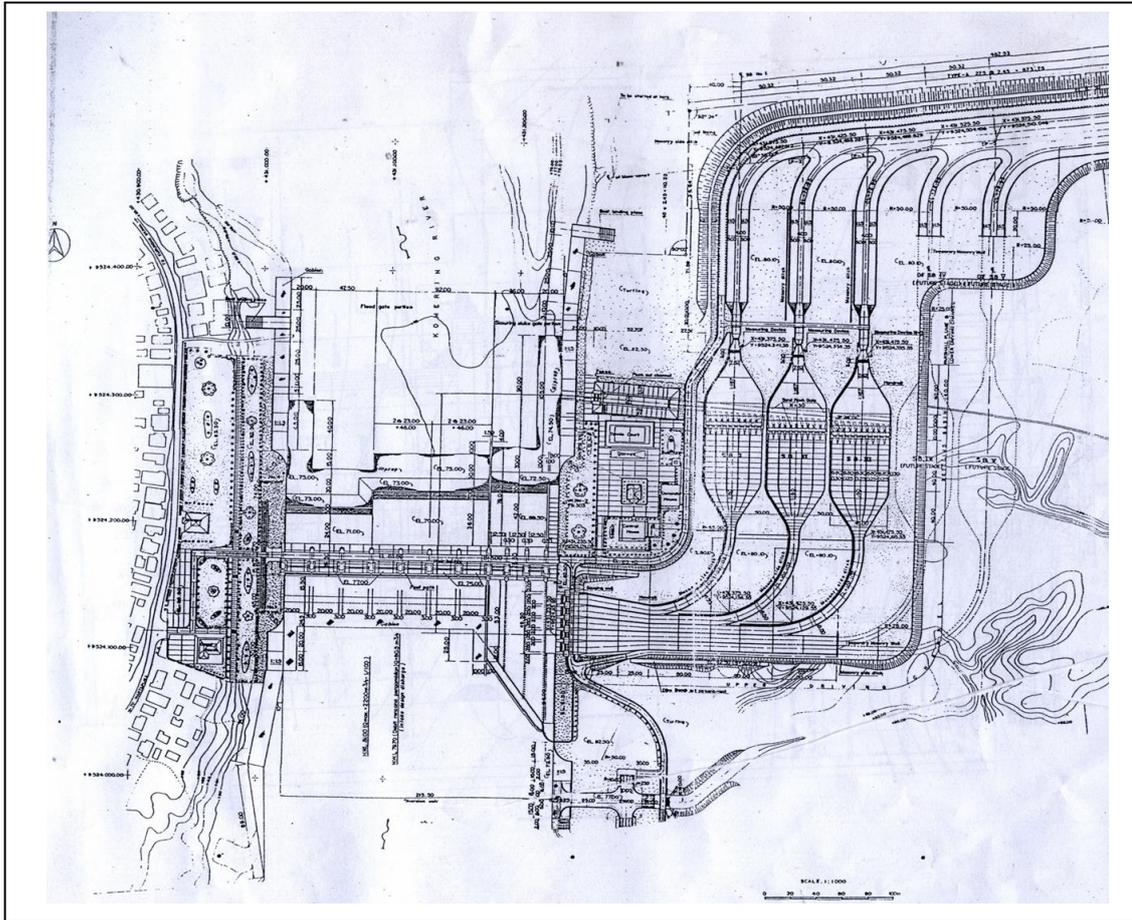
Gambar 5 Data Rekaman Debit Rata-Rata Harian (Debit Sisa / Limpasan Mercu)



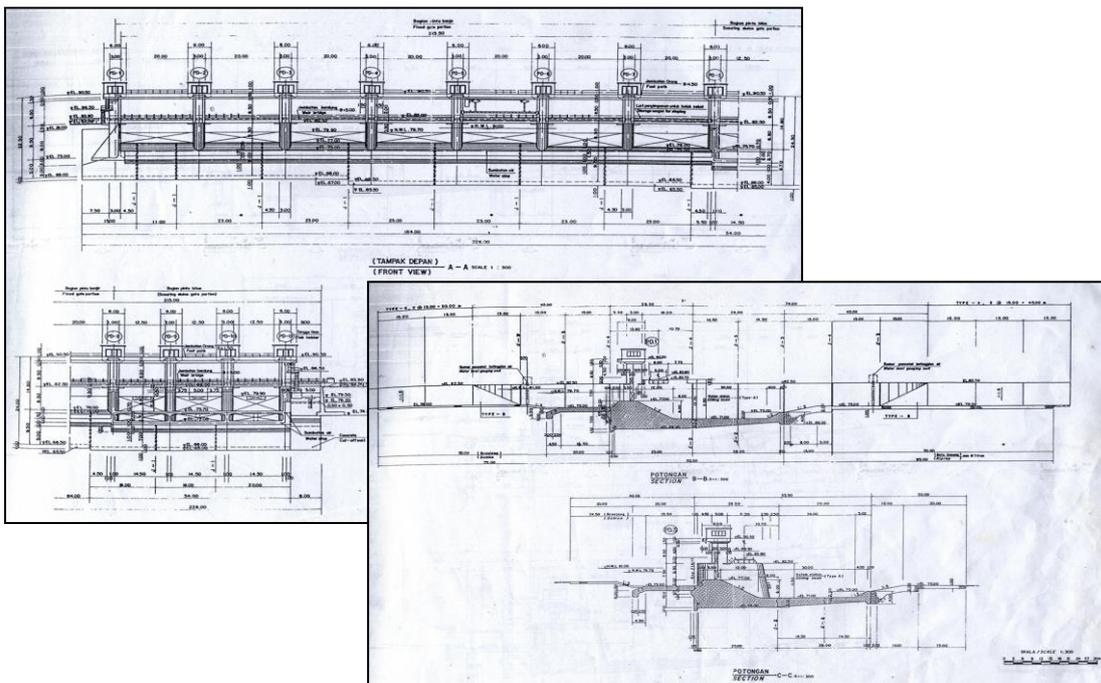
Gambar 6 Data Aliran Komulatif Tahunan (Debit Sisa / Limpasan)



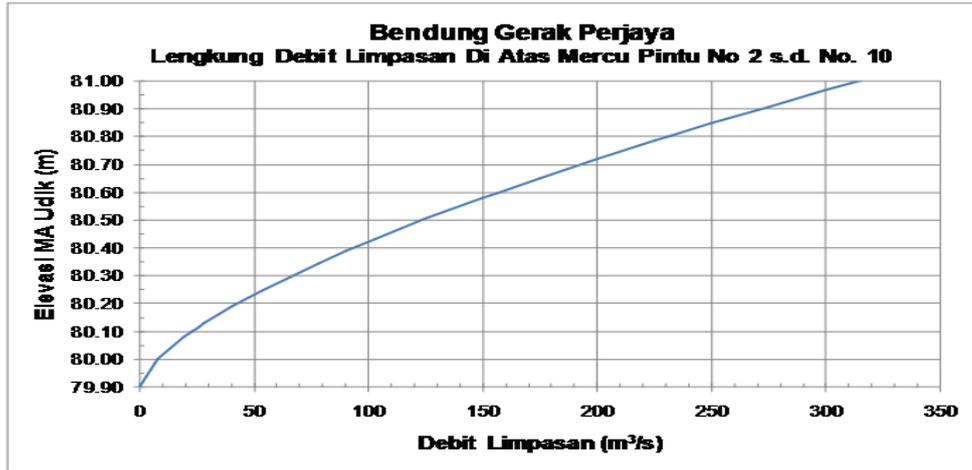
Gambar 7 Grafik Lengkung Durasi-Debit Aliran (Debit Sisa / Limpasan)



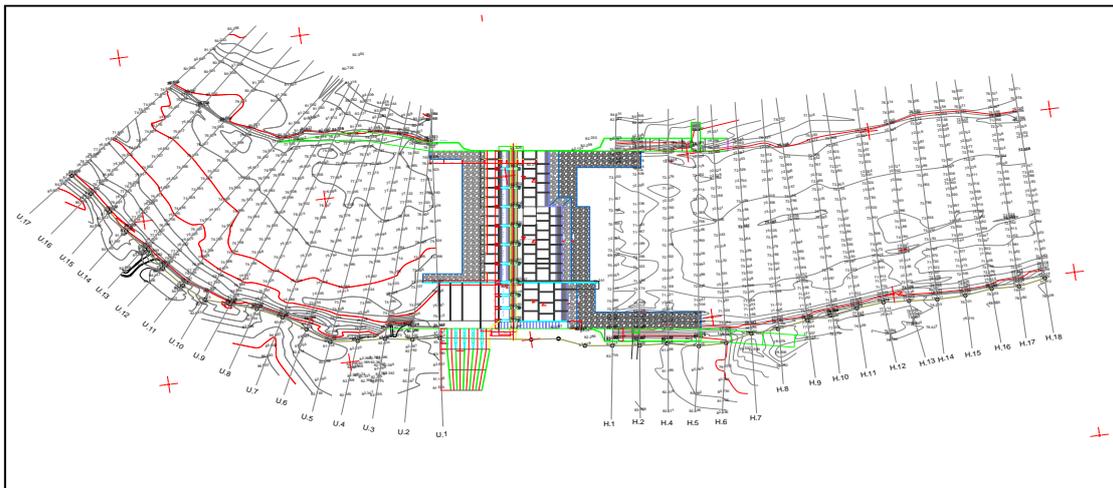
Gambar 8 Tata Letak Bendung Peraja



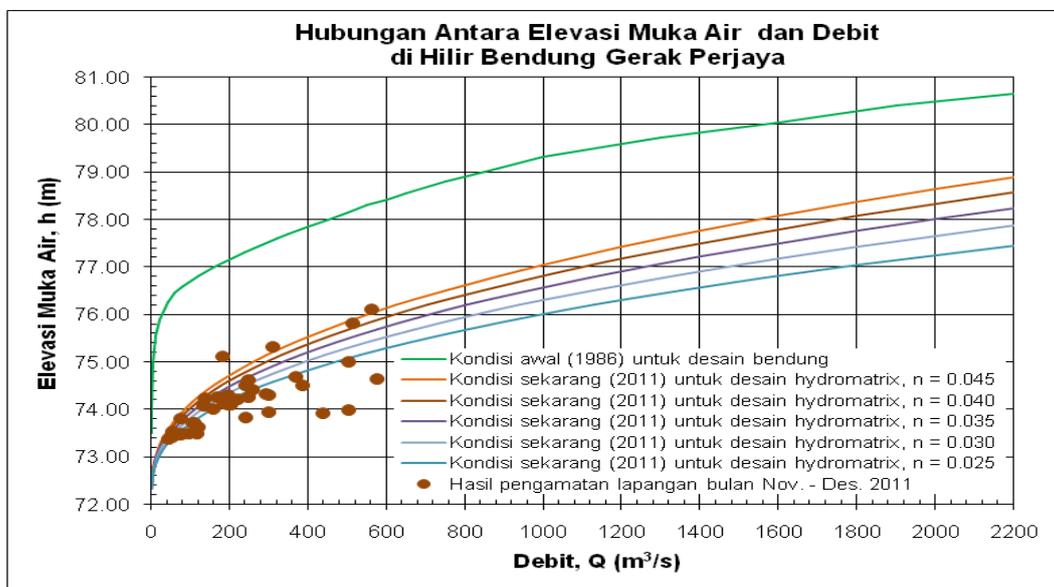
Gambar 9 Potongan Memanjang dan Melintang Bendung Peraja



Gambar 10 Lengkung Debit di Udik Bendung Perjaya, Elevasi Mercu Tetap, +77,00, Elevasi Operasional Rata-Rata, El.+79,90 (Pusat Litbang Sumber Daya Air, 1986)



Gambar 11 Kondisi Topografi Sungai di Sekitar Bendung Perjaya Tahun 2011



Gambar 12 Grafik Hubungan antara Elevasi Muka Air dan Debit di Hilir Bendung Perjaya (Pusat Litbang Sumber Dava Air. 2013)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Potensi Energi Listrik

Sebagai langkah awal dalam perhitungan potensi energi listrik yang dapat dihasilkan adalah melakukan evaluasi dan kalibrasi kondisi muka air di hilir bendung. Elevasi muka air dihitung berdasarkan data penampang sungai dan kemiringan dasar sungai dengan beberapa asumsi besaran kekasaran dasar sungai (parameter *mannig*, *n*).

Data hasil perhitungan dikalibrasi dengan data hasil pengukuran lapangan untuk beberapa variasi debit sungai. Dari hasil perhitungan dan pengukuran lapangan didapatkan grafik antara besaran debit dan elevasi muka air di hilir Bendung Perjaya, seperti disampaikan pada Gambar 12.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa terjadi perubahan elevasi dasar sungai yang berpengaruh terhadap elevasi muka air di hilir bendung, dan dari beberapa asumsi nilai parameter kekasaran dasar sungai, terlihat untuk nilai $n = 0,025$ lebih mendekati dengan hasil pengukuran lapangan. Sehingga dalam analisis selanjutnya perhitungan elevasi dasar sungai di hilir diambil berdasarkan nilai parameter kekasaran dasar sungai, $n = 0,025$.

Dari korelasi antara data debit, elevasi muka air udik bendung (kondisi operasi normal), dan elevasi muka air hilir bendung, dapat disampaikan ringkasan seperti disampaikan pada Tabel 1.

Sebagai dasar dalam pemilihan teknologi pembangkit listrik, dewasa ini telah dikembangkan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTMH) yang relatif masih baru, yang dikenal dengan sebutan Hydromatrix. PLTMH Hydromatrix menggunakan unit pembangkit yang terdiri dari sejumlah turbin-generator tabung kecil yang dirangkai menjadi susunan matrix turbin-generator.

Dengan penggunaan unit turbin-generator kecil dalam jumlah banyak, maka PLTMH dapat dioperasikan pada debit sungai kecil, sehingga rentang debit pengoperasiannya lebih panjang dan *plant-factor*-nya lebih besar.

Berdasarkan spesifikasi tersebut dengan debit minimum $5 \text{ m}^3/\text{s}$ dan tinggi jatuh minimum 2 m, sudah dapat dibangkitkan menjadi energi listrik. Persyaratan spesifikasi ini dapat dipenuhi oleh data debit dan tinggi jatuh yang ada di Bendung Perjaya. Dengan asumsi penerapan 8 unit turbin dengan debit tiap unit $12,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (spesifikasi maksimum), dapat dihasilkan energi listrik sebesar 31.576,00 GWh.

Hasil analisis perhitungan potensi energi listrik selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan gambaran spesifikasi teknologi Hydromatrix ini dapat dilihat pada Gambar 13.

Alternatif Penerapan Teknologi

Penerapan bangunan pembangkit listrik umumnya dilakukan dengan membuat saluran baru keluar dari sistem bendung yang ada dan dibawa ke lokasi yang mempunyai tinggi terjun yang optimal. Kelemahan dari sistem ini selain pengambilan air yang dilakukan akan mengurangi / menghilangkan suplai air ke hilir bendung, sistem ini juga memerlukan biaya investasi yang sangat besar (pembuatan saluran pembawa, bangunan pembangkit listrik, dan pelengkap lainnya).

Alternatif lain yang dapat dipilih sebagai lokasi penempatan bangunan pembangkit listrik adalah ditempatkan pada struktur bendung yang ada. Sistem penempatan pembangkit listrik ini sudah diterapkan di beberapa lokasi lain, antara lain di Bendung Curug, Jawa Barat. Gambaran penempatan sistem pembangkit listrik yang diterapkan di struktur bendung yang ada dapat dilihat pada Gambar 14.

Tabel 1 Ringkasan Hasil Analisis Data Debit, Elevasi Muka Air Udik, dan Elevasi Muka Air Hilir Bendung (Tinggi Jatuh dari Elevasi Minimum Operasional, El.+79,70)

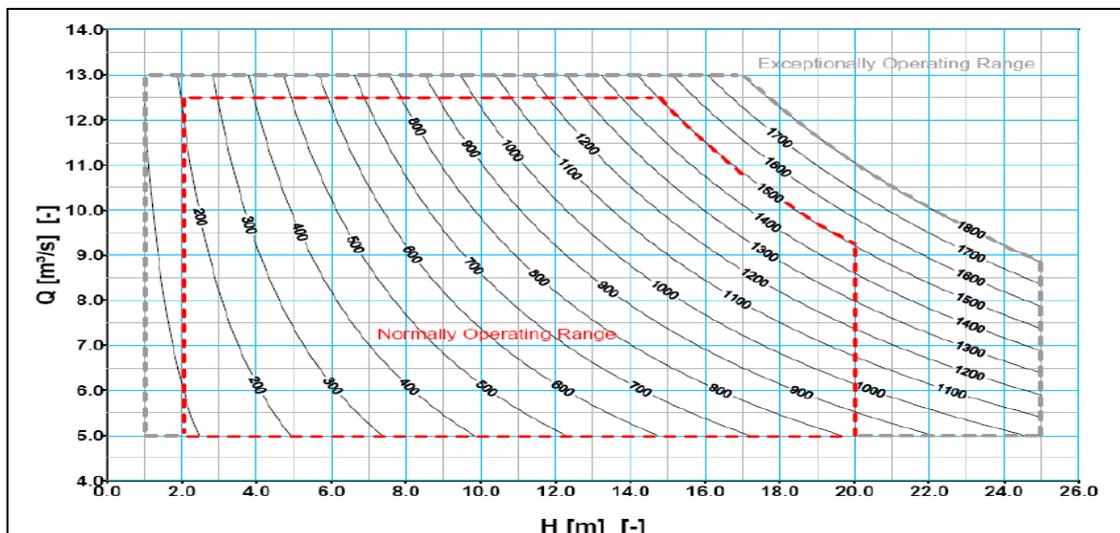
MA Hilir Maksimum		MA Hilir Minimum		Tinggi Jatuh	
Q_{\max} (m^3/s)	MA_{\max} (m)	Q_{\min} (m^3/s)	MA_{\min} (m)	H_{\min} (m)	H_{\max} (m)
1079,17	76,71	25,54	74,00	2,99	5,70

Keterangan : Q_u = debit yang mengalir ke fasilitas tanggakan (selalu terlimpas), Q_t = debit yang untuk turbin, Q_b = debitsisa yang melimpas meru bendung

Tabel 2 Hasil Analisis Perhitungan Potensi Listrik Air Sisa Bendung Perjaya

PLTMH Hydromatrix Perjaya: 1 Modul Pembangkit @ 8 Turbin; Debit Turbin $Q_T = 12.50 \text{ m}^3/\text{s}$														
Jumlah Turbin, N (unit)	Debit, Q			Durasi Aliran, T		Selisih Durasi, ΔT (hari)	MA Udik (El.m)	MA Hilir (El.m)	Tinggi Jatuh, H		Daya Keluar, P		Produksi Energi, E	
	T. Ikan, Q_i (m^3/s)	PLTMH, Q_p (m^3/s)	Sungai, Q_s (m^3/s)	$T_{\%}$ (%)	T_{hari} (hari)				Aktual, H (m)	Efektif, H_e (m)	1 Turbin (kW)	Total (kW)	$P \times \Delta T$ (GWh)	Kumulatif (GWh)
8	3.00	100.00	1079.17	0.27	1.00	1.00	79.700	76.710	2.990	2.841	285	2280	0.055	0.055
8	3.00	100.00	1000.00	0.43	1.59	0.59	79.700	76.571	3.129	2.972	295	2360	0.033	0.088
8	3.00	100.00	900.00	0.92	3.37	1.79	79.700	76.387	3.313	3.148	315	2520	0.108	0.196
8	3.00	100.00	800.00	1.73	6.33	2.96	79.700	76.190	3.510	3.334	330	2640	0.187	0.383
8	3.00	100.00	700.00	2.25	8.20	1.87	79.700	75.979	3.721	3.535	355	2840	0.127	0.511
8	3.00	100.00	650.00	2.86	10.43	2.23	79.700	75.867	3.833	3.642	365	2920	0.156	0.667
8	3.00	100.00	600.00	4.10	14.98	4.55	79.700	75.749	3.951	3.753	375	3000	0.327	0.994
8	3.00	100.00	550.00	5.49	20.04	5.06	79.700	75.626	4.074	3.870	385	3080	0.374	1.369
8	3.00	100.00	500.00	5.77	21.05	1.01	79.700	75.496	4.204	3.993	400	3200	0.078	1.446
8	3.00	100.00	450.00	7.53	27.50	6.45	79.700	75.359	4.341	4.124	415	3320	0.514	1.960
8	3.00	100.00	400.00	9.19	33.54	6.04	79.700	75.212	4.488	4.263	430	3440	0.498	2.459
8	3.00	100.00	375.00	10.76	39.29	5.75	79.700	75.135	4.565	4.337	440	3520	0.486	2.945
8	3.00	100.00	350.00	12.33	45.02	5.73	79.700	75.055	4.645	4.413	445	3560	0.490	3.434
8	3.00	100.00	325.00	14.31	52.24	7.22	79.700	74.971	4.729	4.493	450	3600	0.623	4.058
8	3.00	100.00	300.00	17.18	62.72	10.48	79.700	74.883	4.817	4.576	455	3640	0.916	4.974
8	3.00	100.00	275.00	20.14	73.51	10.79	79.700	74.791	4.909	4.663	465	3720	0.964	5.937
8	3.00	100.00	250.00	24.41	89.09	15.58	79.700	74.695	5.005	4.755	475	3800	1.421	7.358
8	3.00	100.00	225.00	29.36	107.18	18.08	79.700	74.592	5.108	4.853	485	3880	1.684	9.042
8	3.00	100.00	200.00	34.77	126.91	19.73	79.700	74.483	5.217	4.956	495	3960	1.875	10.917
8	3.00	100.00	175.00	41.49	151.44	24.53	79.700	74.365	5.335	5.068	520	4160	2.449	13.366
8	3.00	100.00	150.00	50.02	182.58	31.14	79.700	74.237	5.463	5.190	530	4240	3.169	16.536
8	3.00	100.00	125.00	61.35	223.91	41.33	79.700	74.097	5.603	5.323	540	4320	4.285	20.821
8	3.00	100.00	103.00	70.66	257.90	33.98	79.700	74.000	5.700	5.415	550	4400	3.589	24.409
7	3.00	87.50	90.50	75.38	275.14	17.24	79.700	74.000	5.700	5.482	560	3920	1.622	26.032
6	3.00	75.00	78.00	81.67	298.09	22.95	79.700	74.000	5.700	5.540	565	3390	1.867	27.899
5	3.00	62.50	65.50	88.43	322.75	24.67	79.700	74.000	5.700	5.589	570	2850	1.687	29.586
4	3.00	50.00	53.00	95.67	349.18	26.43	79.700	74.000	5.700	5.629	575	2300	1.459	31.045
3	3.00	37.50	40.50	97.59	356.19	7.01	79.700	74.000	5.700	5.660	579	1737	0.292	31.337
2	3.00	25.00	28.00	99.87	364.52	8.33	79.700	74.000	5.700	5.682	582	1164	0.233	31.570
1	3.00	12.50	25.54	100.00	365.00	0.48	79.700	74.000	5.700	5.696	585	585	0.007	31.576

Daya Keluar Maksimum	4400	kW
Daya Keluar Minimum	585	kW
Produksi Energi Tahunan	31.576	GWh



Gambar 13 Spesifikasi Rentang Penggunaan Per Unit Turbin Hydromatrix, Nilai/socurve Menunjukkan Potensi Daya (Watt) yang Dihasilkan (Sumber : Andriz Hydro)



Gambar 14 Contoh Penerapan Pembangkit Listrik di Struktur Bangunan Bendung

Mengacu pada terapan lapangan yang telah dilakukan, dalam penelitian ini diasumsikan penempatan bangunan pembangkit listrik direncanakan di pintu ujung sebelah kiri (Pintu 1) Bendung Perjaya.

Hal ini dilakukan untuk mempermudah pelaksanaan (dekat dengan jalan akses alat berat yang diperlukan) dan tidak banyak mengganggu operasional bendung secara keseluruhan (pintu-pintu bendung lainnya masih dapat dioperasikan).

Keuntungan dari sistem antara lain : hanya memerlukan modifikasi pada bangunan yang ada terkait menempatkan bangunan pembangkit listrik dan air yang digunakan untuk pembangkit listrik hanya meminjam limpasan air yang ada (tidak mengganggu sistem pemanfaatan air yang ada).

Analisis Uji Model Fisik

Analisis uji model fisik yang dilakukan adalah analisis Uji Model Fisik 3 Dimensi.

Analisis ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem penempatan bangunan pembangkit listrik pada struktur yang ada tidak mengganggu pola fungsi dan operasional bendung yang ada. Dua hal utama yang akan ditinjau yaitu penempatan bangunan baru tidak boleh mengganggu kapasitas debit banjir desain bendung dan penempatan bangunan tersebut juga tidak mengakibatkan kerusakan lingkungan sekitar bendung, terutama di hilir bendung.

Batasan lahan yang dilakukan dalam analisis uji model fisik ini dimulai dari morfologi sungai ± 500 m di udik bendung sampai ± 500 m di

hilir bendung. Skala model yang digunakan dalam analisis uji model fisik ini adalah skala 1 : 50 (1 m di laboratorium = 50 m di lapangan). Mengingat analisis model fisik yang dilakukan adalah tipe saluran terbuka dan air yang digunakan dalam analisis dianggap sama dengan air yang ada di lapangan, maka penurunan rumus skala didasarkan pada kesesuaian bilangan

$$\text{Froude, } F_r = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (12)$$

Perbandingan antara nilai bilangan *Froude* di lapangan (p) dan di model (m) adalah 1,

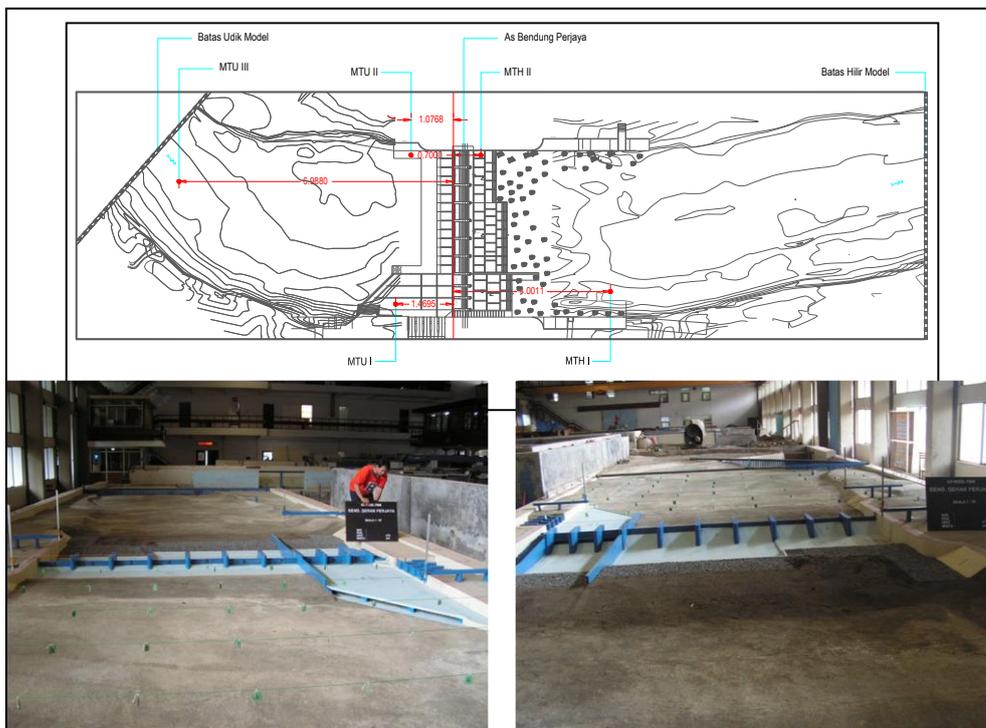
$$n_{Fr} = \frac{(Fr)_p}{(Fr)_m} = \frac{[v/\sqrt{gh}]_p}{[v/\sqrt{gh}]_m} = 1. \quad (13)$$

Dari hasil penurunan rumus tersebut di atas dengan skala 1 : 50, didapatkan penjabaran skala model fisik seperti disampaikan pada Tabel 3.

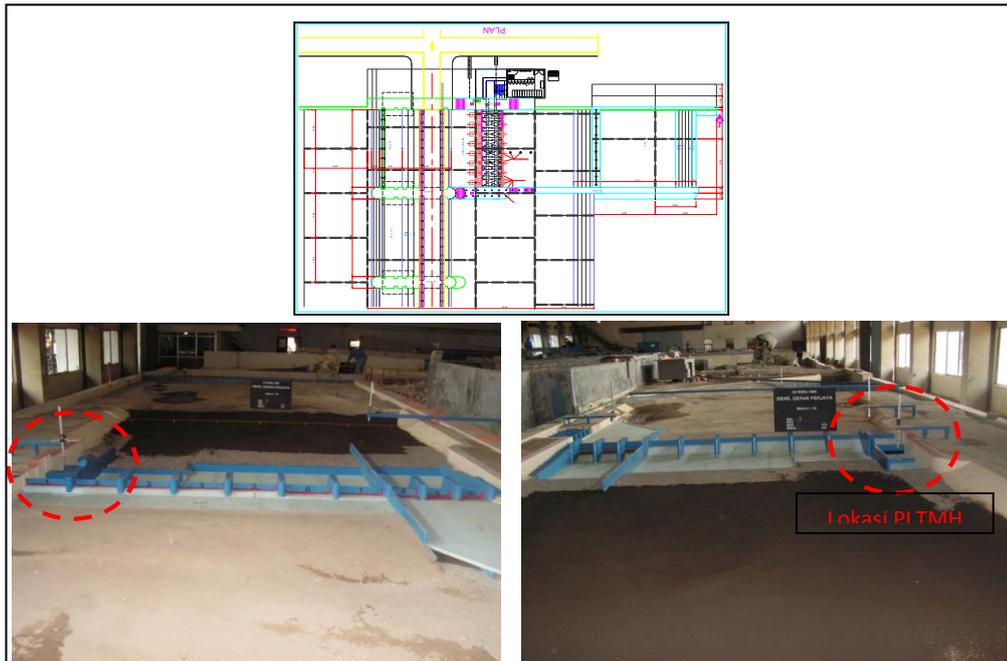
Dalam analisis model fisik ini dilakukan 2 skenario utama, yaitu skenario kondisi eksisting dan skenario kondisi penerapan bangunan pembangkit listrik. Kedua skenario tersebut dilakukan untuk mendapatkan gambaran kapasitas dan pola gerusan yang terjadi (mewakili kerusakan lingkungan) baik sesuai kondisi saat ini maupun kondisi jika bangunan pembangkit listrik dibangun di salah satu pintu bendung. Gambaran skenario model fisik kondisi eksisting dan kondisi penerapan bangunan pembangkit listrik, dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.

Tabel 3 Detail Penjabaran Skala Model Fisik Skala 1 : 50

Besaran	Simbol Skala Besaran	Rumus Skala Besaran	Nilai Skala Besaran
			n = 50
Panjang	n_L	n_L	50
Tinggi	n_h	$n_h = n_L$	50
Luas	n_A	$n_A = n_L^2$	2.500
Volume	n_V	$n_V = n_L^3$	125.000
Waktu Aliran	n_t	$n_t = n_L^{1/2}$	7,071
Kecepatan Aliran	n_v	$n_v = n_L^{1/2}$	7,071
Debit Aliran	n_Q	$n_Q = n_L^{5/2}$	17.678
Kekasaran	n_k	$n_k = n_L$	50
Koefisien Manning	n_n	$n_n = n_L^{1/6}$	1,919
Koefisien Chezy	n_c	$n_c = 1$	1
Diameter Butir	n_d	$n_d = n_L$	50



Gambar 15 Skenario Model Fisik Kondisi Eksisting

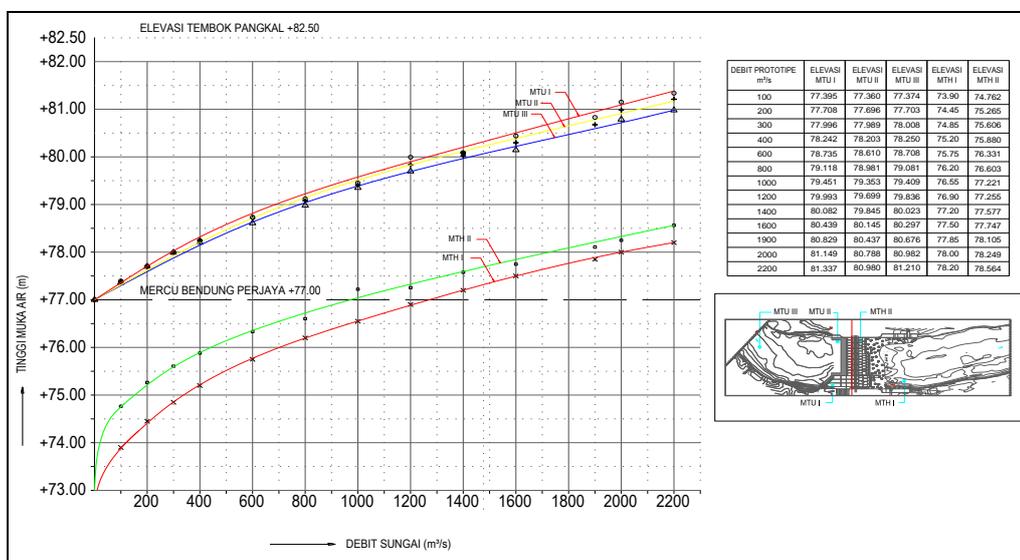


Gambar 16 Skenario Model Fisik Kondisi Penerapan Bangunan Pembangkit Listrik

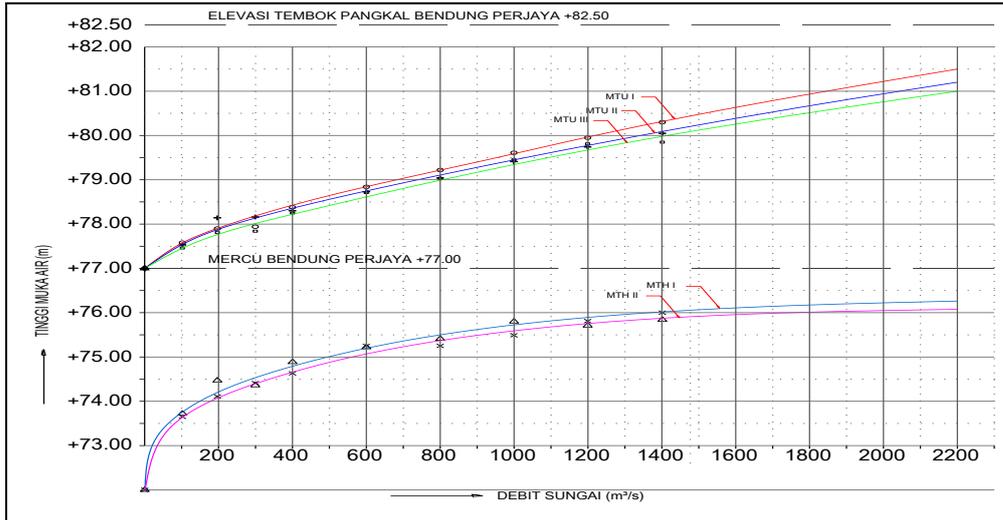
Analisis Kapasitas Limpas Bendung Kondisi Eksisting dan Kondisi Penerapan Bangunan Pembangkit Listrik

Hasil uji model fisik kondisi eksisting menunjukkan kapasitas limpas bendung cukup memadai untuk mengalirkan debit banjir desain, $Q_{100th} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$. Tinggi jagaan yang ada 1,16 m ($> 0,75 \text{ m}$). Gambaran hasil lengkung debit Bendung Perjaya terkait kapasitas limpas banjir dapat dilihat pada Gambar 17.

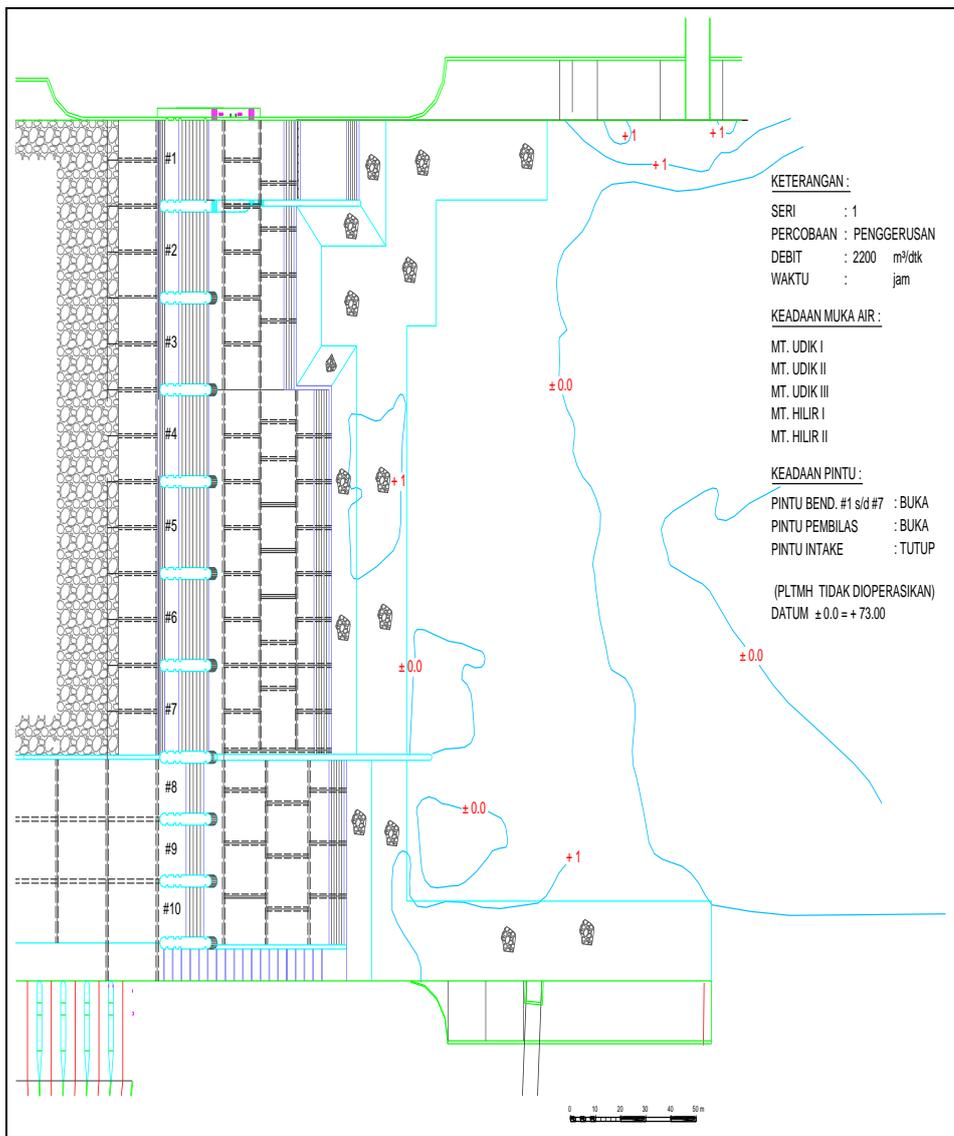
Untuk kondisi penerapan bangunan pembangkit listrik, dengan debit desain banjir terjadi kenaikan muka air sebesar 16 cm. Tinggi jagaan banjir yang terjadi menjadi 1 m ($> 0,75 \text{ m}$). Gambaran hasil lengkung debit Bendung Perjaya terkait kapasitas limpas banjir dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 17 Lengkung Debit Bendung Perjaya Kondisi Eksisting (Pusat Litbang Sumber Daya Air, 1986)



Gambar 18 Lengkung Debit Bendung Perjaya Kondisi



Gambar 19 Potensi Gerusan Lokal di Hilir Bendung Perjaya Kondisi Penempatan Bangunan Pembangkit Listrik Debit Desain 100 Tahunan (Pusat Litbang Sumber Daya Air, 2013)

Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa dengan penempatan bangunan pembangkit listrik, kapasitas limpas Bendung Perjaya masih cukup untuk mengalirkan debit banjir periode ulang 100 tahunan dengan tinggi jagaan 1 m.

Analisis Kerusakan Lingkungan Kondisi Penerapan Bangunan Pembangkit Listrik

Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran pengaruh penempatan bangunan pembangkit listrik pada struktur bendung terhadap pola gerusan di hilir bendung yang dapat memicu kerusakan baik pada lingkungan di hilir bendung maupun terhadap bangunan bendung yang ada.

Uji model fisik mendapatkan hasil gerusan terdalam yang terjadi sama dengan elevasi ambang hilir bendung yang ada (+0,00m). Hasil tersebut menunjukkan bahwa adanya tambahan bangunan pembangkit listrik pada tubuh bendung eksisting tidak memberikan dampak yang membahayakan pada lingkungan di hilir bendung. Gambaran hasil uji model fisik untuk debit banjir desain 100 tahunan dapat dilihat pada Gambar 19.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disampaikan beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut: **1)** Masih terdapat kelebihan air dengan debit minimum $Q_{min} = 25,54 \text{ m}^3/\text{s}$, debit maksimum $Q_{max} = 1079,17 \text{ m}^3/\text{s}$, dan debit rata-rata $Q_r = 150,10 \text{ m}^3/\text{s}$, yang belum termanfaatkan dengan optimal; **2)** Dengan memanfaatkan pembangkit listrik jenis (PLTMH) Hydromatrix sisa air yang ada dapat dibangkitkan menjadi tenaga listrik sebesar 31.576,00 GWh; **3)** Dengan pendekatan tanpa mengganggu sistem pengelolaan air yang ada di bendung (dengan memanfaatkan bangunan yang ada), dapat diterapkan bangunan pembangkit listrik yang diletakkan di pintu bendung paling kiri (pintu no. 1); **4)** Penempatan bangunan pembangkit listrik di Pintu no. 1, relatif tidak memberikan dampak yang negatif terhadap sistem bendung yang ada.

Upaya optimalisasi pemanfaatan air yang ada (revitalisasi), khususnya di Bendung Perjaya dan di bendung-bendung lainnya secara umum, akan mampu berkontribusi dalam menjawab tantangan penyediaan energi listrik pada masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

Andritz Hydro. 2010. *Bahan Presentasi PLTMH Hydromatrix*.

Artono Arismunandar, Dr., M.A.Sc. dan Susumu Kuwahara, Dr. 1988. *"Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik" Jilid I: Pembangkitan Dengan Tenaga Air*, Cetakan Kelima. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Japanese Institute of Irrigation and Drainage. 1987. *"Small Scale Hydro Power Generation" Engineering Manual for Irrigation & Drainage*.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2009. *"Master Plan Pembangunan Ketenagalistrikan 2010 s.d. 2014"*, Jakarta, Desember 2009.

Nippon Koei Co., Ltd. 1986. Upper Komerung Irrigation Project, Contract No. HK. 02. 03. 01 – Da / 714 (Package – I), *"Design Report Volume II, Design Calculation Book"*, July 1986.

Nippon Koei Co., Ltd, 1995, Proyek Irigasi Komerung Tahap-1, *"Pedoman Operasi dan Pemeliharaan"*, Laporan Utama, Oktober 1995.

Pemerintah Kabupaten Ogan Komerung Ulu Timur, Situs Resmi Pemerintah Kabupaten Ogan Komerung Ulu Timur www.okutimurkab.go.id.

Pusat Litbang Sumber Daya Air. 1986. *"No. P. 1226 C - HAU Report of Hydraulic Model Investigation on Glass Flume of Perjaya Weir, Upper Komerung Irrigation Project, South Sumatera"*.

Pusat Litbang Sumber Daya Air. 1997. *"No. P. 1696 A - BHGK Report on Hydraulic Model Test on the Curug Hydro Power Station"* (Overall Model).

Pusat Litbang Sumber Daya Air. 1997. *"No. P. 1696 B - BHGK Report on Hydraulic Model Test on the Curug Hydro Power Station"* (Detail Model).

Ven Te Chow, Ph.D. 1982. *"Open Channel Hydraulics"* International Student Edition, 18th Printing, McGraw-Hill International Book Company.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya kepada yang terhormat : Bapak Arie Setiadi M., Bpk Prayogo E., Ibu Yiniarti, Kepala BBWS Sumatera VIII beserta jajarannya, dan tenaga ahli sampai teknisi di lingkungan Balai BHGK Puslitbang SDA.

