



PERENCANAAN SALURAN BYPASS SUNGAI KEDUANG UNTUK MEMINIMALISASI SEDIMENTASI DI WADUK WONOGIRI

Gandha Yugo Prasetyo, Syukur Adi Utomo, Dyah Ari Wulandari^{*)}, Salamun^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50239, Telp: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

ABSTRAK

Waduk Wonogiri terletak di bagian selatan Kabupaten Wonogiri. Sepanjang pengoperasiannya waduk ini mengalami sedimentasi \pm 3,1 juta m³/tahun, aliran sedimen terbesar disumbang oleh Daerah Aliran Sungai (DAS) Keduang. Diperlukan upaya untuk mengurangi sedimentasi, antara lain dengan membuat saluran *bypass* agar aliran dengan konsentrasi sedimen yang tinggi dapat dialihkan sebelum masuk ke waduk. Perencanaan ini bertujuan untuk menentukan debit operasional, struktur dan dimensi penampang saluran *bypass* Sungai Keduang hingga rencana anggaran pembangunan. Metode yang digunakan dalam perencanaan ini adalah dengan melakukan analisis hidrologi melalui pendekatan konsep debit dominan dan angkutan sedimen sehingga dapat diketahui besarnya debit, waktu pelepasan, dan tingkat efisiensi. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, volume air yang dilepas melalui saluran *bypass* rata-rata sebesar 482.044.742 m³/tahun, dan batasan debit operasional saluran *bypass* sebesar 10-30 m³/s. Dengan batasan tersebut dihasilkan tingkat efisiensi saluran *bypass* rata-rata sebesar 29,36%. Pengoperasian saluran *bypass* menggunakan pintu air tipe angkat dan pintu klep otomatis, dengan perkuatan sisi menggunakan dinding penahan pasangan batu. Perkiraan nilai biaya pembangunan saluran *bypass* sebesar Rp 217.540.837.000 (dua ratus tujuh belas miliar lima ratus empat puluh juta delapan ratus tiga puluh tujuh ribu rupiah) dengan durasi pelaksanaan pekerjaan selama 37 minggu.

Kata kunci:Waduk Wonogiri, sedimentasi, DAS Keduang, saluran *bypass*

ABSTRACT

Wonogiri reservoir located in southern Wonogiri regency. The reservoir has sedimentation \pm 3,1 million m³/year for all over its operation, and Keduang watershed has highest contribution for the sedimentation in Wonogiri reservoir. It was needed ways to decrease sedimentation, such as using bypass canal in order to divert the high of sediment flow before entering the reservoir. This study plan is aimed to determine the operasional discharge, structure and dimension of the bypass section up to budget plan The method used in this planning are hydrological analysis with dominant discharge approach, and sediment transport analysis. This method is used to calculate total discharge, time release, and efficiency. Based on analysis and calculation showed that water volume released from bypass canal is average 482.044.742 m³/year, and limitation discharge from bypass canal is 10-30 m³/s.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

Those aspects increased the efficiency rate of bypass canal average 29,36%. The bypass canal is operated using valve lift type, and automatic valve door, and its side is strengthened by wall made from river stone. Technically, the estimation value to build the bypass canal is Rp. 217,540,837,000 (two hundred and seventeen billion five hundred and forty million eight hundred thirty-seven thousand Rupiahs). The duration of work is 37 weeks.

Keywords: Wonogiri reservoir, sedimentation, Keduang watershed, and bypass canal

PENDAHULUAN

Latar Belakang

DAS Keduang merupakan sub DAS dari Sungai Bengawan Solo, sungai terpanjang di pulau Jawa yang berlokasi di bagian tenggara dari Provinsi Jawa Tengah. Secara administratif DAS Keduang masuk ke dalam wilayah Kabupaten Wonogiri.

Endapan sedimen dalam area tampungan Waduk Wonogiri mayoritas disumbang oleh DAS Keduang. Rata-rata per tahun DAS Keduang menyumbang 1.200.000 m³ dari total rata-rata 3.100.000 m³ yang masuk ke dalam Waduk Wonogiri (Kompas, 2009). Mayoritas endapan sedimen yang berasal dari DAS Keduang berasal dari erosi lahan akibat menurunnya tanaman keras yang menutupi lahan. Penyumbang sedimen lainnya yaitu DAS Tirtomoyo, Bengawan Solo hulu, Temon, Alang, dan beberapa DAS kecil lainnya.

Beberapa bangunan pengendali sedimen seperti *checkdam* sudah dibangun di Sungai Keduang untuk mengumpulkan atau menahan sedimen sebelum masuk ke dalam waduk. Namun penggunaan *checkdam* perlu dikaji kembali dalam penanganan sedimentasi waduk, karena karakteristik sedimen yang cenderung semakin halus, bahkan menyerupai lempung (Ruritan, 2005). Karakteristik sedimen seperti ini dapat ditangani dengan teknik *sediment bypass*. Teknik *sediment bypass* memiliki implikasi yang sangat kecil terhadap perubahan pola angkutan sedimen alami dari suatu sungai (Morris, 2003). Dengan teknik *sediment bypass*, ketika terjadi banjir maka air yang sarat akan muatan sedimen akan dialihkan menuju saluran *bypass* sehingga air yang sarat akan muatan sedimen tidak masuk ke dalam *reservoir* atau waduk. Dengan adanya saluran *bypass* diharapkan dapat membantu mengurangi sedimen yang masuk Waduk Wonogiri sehingga waduk dapat berfungsi penuh sesuai umur rencana.

Maksud dan Tujuan

Maksud dari perencanaan ini adalah merencanakan saluran *bypass* pada Sungai Keduang untuk mengalihkan aliran dengan konsentrasi sedimen tinggi agar tidak masuk waduk sampai dengan siap ditenderkan.

Tujuan

- Melakukan analisis neraca air waduk dengan data operasional harian Waduk Wonogiri untuk mendapatkan nilai *inflow* Waduk Wonogiri dan membandingkannya dengan kebutuhan air yg harus dilayani oleh Waduk Wonogiri
- Melakukan analisis debit aliran dan debit sedimen pada Sungai Keduang untuk kemudian dilakukan pemilihan nilai debit yang akan dialihkan oleh saluran *bypass*
- Menentukan trase saluran *bypass*, dan perencanaan teknis saluran *bypass*
- Menghitung analisis harga satuan dan biaya pekerjaan (RAB)

Tinjauan Pustaka

Penanganan sedimentasi waduk dengan menggunakan bangunan–bangunan pengendali atau penangkap sedimen perlu dikaji kembali, karena telah terjadi perubahan karakteristik sedimen yang cenderung semakin halus, bahkan menyerupai lempung (Ruritan, 2005). Beberapa pendekatan baru akhir–akhir ini mulai digunakan di luar usaha penanganan sedimen waduk yang lazim seperti pengerukan, bangunan penangkap sedimen, dan penanggulangan erosi lahan. Pendekatan itu antara lain berupa *flushing* dan *sediment routing*. Kedua konsep tersebut tidaklah sama. *Flushing* atau pembilasan adalah penggelontoran sedimen melalui sarana pelepasan air waduk (*water outlet*) (Ruritan, 2005), sedangkan *sediment routing* terdiri dari berbagai upaya atau metode untuk merekayasa hidraulika, dan geometri dari waduk, atau keduanya dengan tujuan mengeluarkan sedimen melalui outlet waduk atau saluran di sekitar waduk.

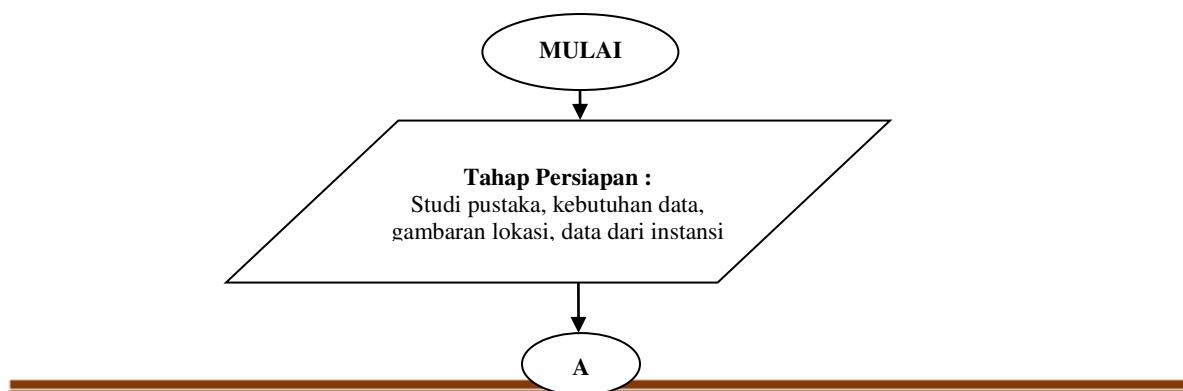
Teknik dalam *Sediment routing* secara garis besar dapat diklasifikasikan menjadi 2 kategori yaitu *sediment pass through* dan *sediment bypass*. Secara umum, *sediment pass through* merupakan teknik dari *sediment routing*, dimana sedimen dialirkan melalui waduk, sedangkan *sediment bypass* merupakan teknik dari *sediment routing* dimana sedimen dialirkan melalui *saluran bypass* di sekitar waduk.

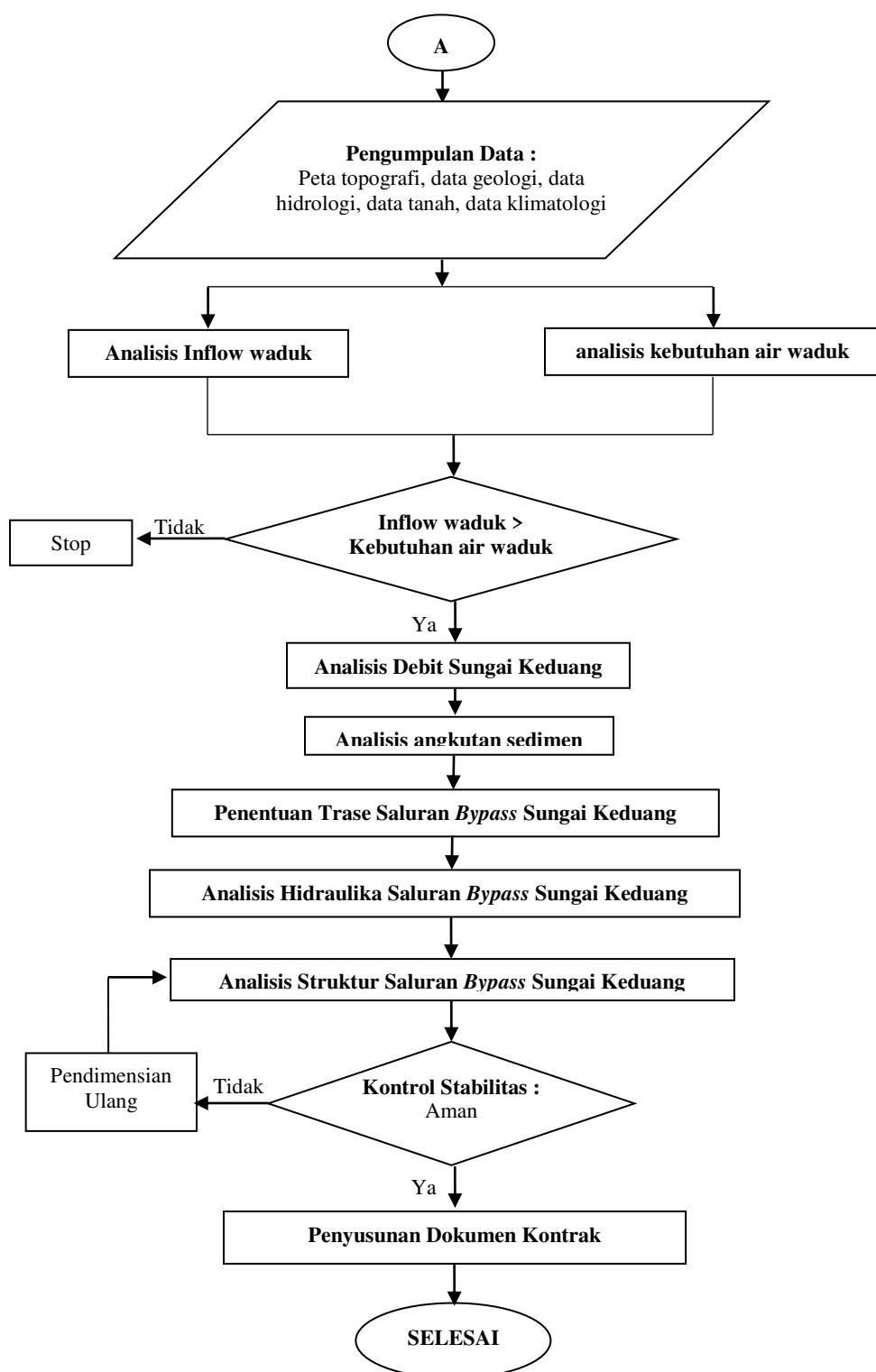
Untuk merencanakan saluran *bypass* terlebih dahulu harus menganalisis *inflow* dan kebutuhan air waduk kemudian analisis (Morris, 2003). *Inflow* waduk berasal dari curah hujan yang jatuh langsung ke waduk dan aliran sungai yang masuk ke waduk. Sedangkan air waduk dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air baku, air minum, industri, dan irigasi (Umayektinisa, 2015). Apabila ada kelebihan air (*inflow* dikurangi kebutuhan air), maka jumlah kelebihan air itu dapat dibuang pada saluran *bypass*. Debit pada Sungai Keduang didapat berdasarkan total *inflow* yang telah dikalibrasi dengan faktor parameter pada persamaan debit banjir dengan metode rasional. Analisis debit sedimen digunakan persamaan $Q_s = 0,0002656 \times Q^{1,601}$ (JICA, 2007). Sedangkan untuk operasional saluran *bypass* dipilih debit aliran yang memiliki prosentasi kemunculan mendekati 50% (debit dominan) (Kodoatie, R.J, dan Sugiyanto, 2013).

Tipe aliran dan dimensi pada saluran *bypass* dianalisis dengan tipe aliran seragam, dimana garis energi dan garis tinggi muka air berada sejajar (Chen te chow, 1998). Selanjutnya dilakukan perencanaan teknis berupa dinding penahan tanah, pintu air, dan kolam olak.

METODOLOGI

Tahapan-tahapan proses dari awal hingga akhir, dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut:





Gambar 1 Bagan Alir Perencanaan Saluran Bypass Sungai Keduang

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Inflow dan Kebutuhan Air Waduk

Inflow Waduk Wonogiri berasal dari curah hujan yang jatuh langsung ke waduk dan aliran sungai yang langsung masuk ke dalam waduk. Untuk mendapatkan nilai total *inflow* waduk digunakan Persamaan neraca air waduk untuk menghitung *outflow* waduk yaitu $RL_t = Qt + St - Et - St + 1$ (Umayektinisa, 2015). Untuk menentukan volume awal dan akhir waduk digunakan kurva hubungan antara elevasi muka air dengan volume waduk pada tahun 1993 - 2015 yang diterbitkan oleh Perum Jasa Tirta 1. Sedangkan Data kebutuhan air mengacu pada data POW (Pola Operasi Waduk) tahun 2015-2016 yang diterbitkan oleh BBWS Bengawan Solo. Volume air yang bisa dilepas melalui saluran *bypass* dihitung dengan mencari selisih antara nilai total *inflow* waduk dan total kebutuhan air dalam periode 1 tahun. Perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 diperoleh rata – rata total *inflow* waduk per tahun sebesar $1.177.996.742 \text{ m}^3$ maka volume air yang bisa dilepas melalui saluran *bypass* sebesar $482.044.742 \text{ m}^3$

Tabel 1 Perhitungan Volume Air yang Bisa Dilepas Melalui Saluran *Bypass*

Tahun	Inflow (m ³)	Keb air sesuai POW Tahun (2015-2016) (m ³)	Volume air yang bisa dilepas (m ³)
2000	1.369.365.361,36	695.952.000	673.413.361,36
2001	1.074.875.990,17	695.952.000	378.923.990,17
2002	1.198.734.484,62	695.952.000	502.782.484,62
2003	983.409.645,32	695.952.000	287.457.645,32
2004	864.667.314,66	695.952.000	168.715.314,66
2005	794.777.010,99	695.952.000	98.825.010,99
2006	994.414.311,18	695.952.000	298.462.311,18
2007	1.098.826.719,58	695.952.000	402.874.719,58
2008	1.286.811.452,74	695.952.000	590.859.452,74
2009	815.074.408,57	695.952.000	119.122.408,57
2010	1.629.320.730,04	695.952.000	933.368.730,04
2011	1.496.481.773,19	695.952.000	800.529.773,19
2012	1.220.486.832,95	695.952.000	524.534.832,95
2013	1.761.514.572,71	695.952.000	1.065.562.572,71
2014	995.368.434,84	695.952.000	299.416.434,84
2015	1.263.818.825,32	695.952.000	567.866.825,32
total	18.847.947.868,24	11.135.232.000	7.712.715.868,24
rata-rata	1.177.996.742	695.952.000	482.044.742

Sumber:Hasil Perhitungan, 2017

Analisi Debit Sungai Keduang dan Angkutan Sedimen

Debit harian sungai Keduang diperoleh berdasarkan total debit yang masuk waduk dari anak sungai sesuai proporsi luasan, jumlah curah hujan dan koefisiensi pengaliran masing-masing anak sungai.

Setelah didapat nilai debit *inflow* harian Sungai Keduang dari tahun 2006 sampai 2015, kemudian dicari faktor frekuensinya dengan melakukan analisis frekuensi debit *inflow* harian. Analisis frekuensi debit Sungai Keduang dilakukan untuk mengetahui *range* debit yang sering terjadi. Hal ini dilakukan untuk menentukan *range* debit yang akan dialihkan menuju saluran *bypass*. Kemudian debit sedimen Sungai Keduang dihitung dengan persamaan $Q_s = 0,0002656 \times Q^{1,601}$ (JICA, 2007). Pemilihan debit operasional dilakukan dengan pendekatan konsep debit dominan. Tingkat efisiensi saluran *bypass* dihitung dengan 2 metode. Skenario pertama yaitu persentase antara volume sedimen yang bisa dialihkan oleh saluran *bypass* dengan *range* debit $1 < Q \leq 10$ (Q_s *bypass*) dengan volume sedimen keseluruhan Sungai Keduang pada musim penghujan (Q_s keduang). Skenario kedua yaitu persentase antara volume sedimen yang bisa dialihkan oleh saluran *bypass* dengan *range* debit $10 < Q \leq 30$ (Q_s *bypass*) dengan volume sedimen keseluruhan Sungai Keduang pada musim penghujan (Q_s keduang). Simulasi nilai efisiensi saluran *bypass* dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 skenario yang memiliki nilai efisiensi terbesar adalah skenario 2 dengan debit *range* $10 < Q \leq 30$. Oleh karena itu saluran *bypass* Sungai Keduang di desain untuk debit dengan *range* $10 < Q \leq 30$ agar memiliki tingkat efisiensi yang optimal. Total volume pelepasan air pada skenario 2 terbesar terjadi pada tahun 2010 yaitu sebesar $132,56 \times 10^6 \text{ m}^3$. Kondisi tersebut masih aman karena di bawah batas volume maksimal pelepasan air yaitu sebesar $482 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Tabel 2 Prosentase Sedimen yang Dilepas Melalui Saluran *Bypass* Sungai Keduang Pada Musim Penghujan (m^3)

Tahun	Total Inflow sedimen Sungai Keduang	Total Volume sedimen Via Saluran Bypass Skenario 1	Prosentase Skenario 1 (%)	Total Volume sedimen Via Saluran Bypass Skenario 2	Prosentase Skenario 2 (%)
1	2	3	4 = 3/2	5	6 = 5/2
	M^3	M^3	%	M^3	%
2006	228,23	28,29	12,40	51,47	22,55
2007	287,60	31,51	10,95	39,01	13,56
2008	316,64	22,73	7,18	100,09	31,61
2009	283,71	35,71	12,59	71,84	25,32
2010	459,25	38,57	8,40	132,56	28,87
2011	449,91	28,37	6,31	109,15	24,26
2012	321,93	35,90	11,15	99,99	31,06
2013	374,27	22,92	6,12	82,97	22,17

2014	234,40	26,57	11,34	76,17	32,5
2015	274,37	20,52	7,48	78,95	28,78
		rata-rata	9,39		29,36

Sumber:Hasil Perhitungan, 2017

Analisis Hidrolis Saluran Bypass Sungai Keduang

Saluran *bypass* Sungai Keduang direncanakan tidak dekat dengan bagian *intake* Waduk Wonogiri. Hulu saluran *bypass* Sungai Keduang berada pada jarak 1.950 m dari *intake* waduk. Sedangkan hilir saluran *bypass* berada pada jarak 1.670 m dari Waduk Wonogiri. Panjang total saluran direncanakan sepanjang 7.000 m melewati pinggiran Waduk Wonogiri. Untuk pengoperasian saluran *bypass* Sungai Keduang digunakan pintu air. Ketika debit Sungai Keduang berada antara $10 < Q \leq 30 \text{ m}^3/\text{s}$ maka pintu air pada saluran *bypass* terbuka. Sedangkan jika debit sungai $< 10 \text{ m}^3/\text{s}$ atau $> 30 \text{ m}^3/\text{s}$ maka pintu air pada saluran *bypass* tertutup. Analisis hidrolis digunakan untuk menentukan kemiringan dasar saluran dan dimensi penampang saluran *bypass*. Sebelum menentukan kemiringan dasar, terlebih dahulu ditentukan kecepatan geser kritis butiran. Dengan bantuan grafik *shields*, dan persamaan *Egiazharoff-Aishida Michiue*, nilai kecepatan geser kritis untuk butiran sedimen Sungai Keduang diameter 0,85-2 mm sebesar 0,014 m/s, maka saluran *bypass* didesain dengan kecepatan 2 m/s ($U > U_{cr}$) dan berbentuk persegi panjang. Dengan persamaan *Strickler* diperoleh dimensi dan karakteristik saluran *bypass* untuk kecepatan rencana 2 m/s dan debit maksimal 30 m³/s adalah sebagai berikut

$$\begin{array}{lll} - b = 5 \text{ m} & - A = 15 \text{ m}^2 & - I = 0,000735 \\ - h = 4 \text{ m} & - V = 2 \text{ m/s} & \end{array}$$

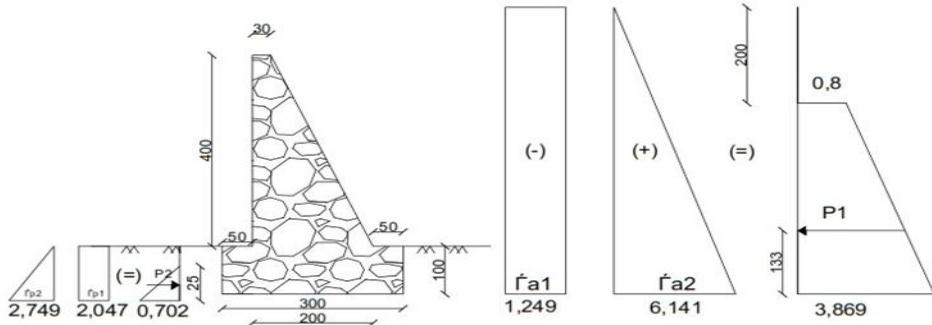
dimana

$$\begin{array}{lll} b = \text{dimensi sisi bawah lebar} & A = \text{luas penampang} & I = \text{Kemiringan dasar} \\ h = \text{dimensi sisi tegak} & V = \text{Kecepatan rencana} & \end{array}$$

PERENCANAAN TEKNIS

Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah digunakan agar bagian sisi saluran dan bangunan pintu air tahan terhadap longsoran, dan tidak tergerus oleh aliran air. Data untuk perhitungan dinding penahan tanah diambil dari lokasi di sekitar Waduk Wonogiri. Dari data pengujian laboratorium didapat sudut geser $\phi = 14^\circ$, kohesi $c = 0,8 \text{ ton/m}^2$ berat isi $\gamma = 1,678 \text{ ton/m}^3$, dan elevasi muka air tanah = - 9,0 m. Untuk material dinding digunakan pasangan batu. Diagram tekanan tanah lateral dan rencana dimensi dinding penahan dapat dilihat pada Gambar 2

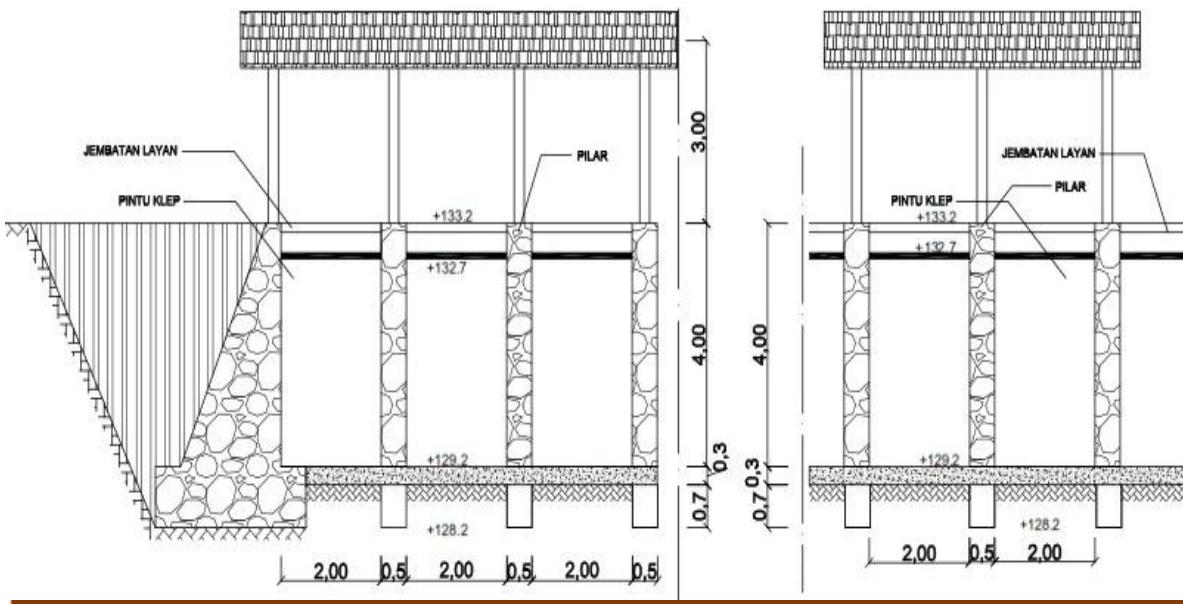


Gambar 2 Diagram tekanan tanah lateral dan Rencana Dimensi Dinding

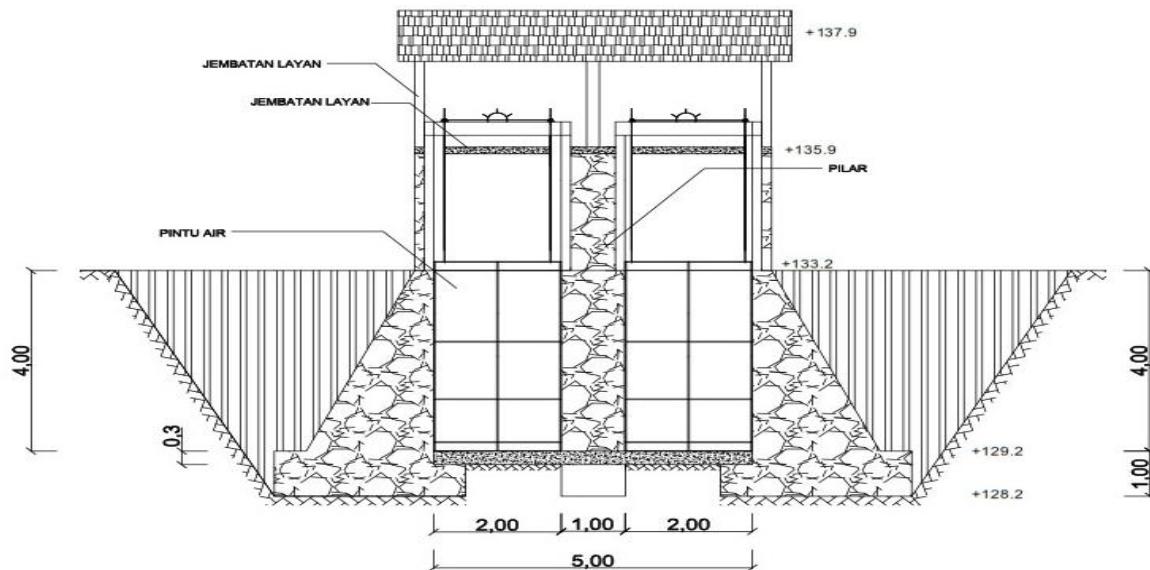
Berdasarkan kontrol stabilitas terhadap geser, guling, dan daya dukung tanah, diperoleh dinding penahan tanah tersebut telah memenuhi persyaratan stabilitas

Pintu Air

Pintu air digunakan agar pengoperasian saluran *bypass* Sungai Keduang dapat lebih mudah. Ketika debit Sungai Keduang berada antara $10 < Q \leq 30 \text{ m}^3/\text{s}$ maka pintu air pada saluran *bypass* terbuka. Sedangkan jika debit sungai $< 10 \text{ m}^3/\text{s}$ atau $> 30 \text{ m}^3/\text{s}$ maka pintu air pada saluran *bypass* tertutup. Pada saluran *bypass* Sungai Keduang digunakan pintu angkat, sedangkan pada Sungai Keduang digunakan pintu klep yang dapat membuka dan menutup otomatis tergantung dengan tinggi muka air. Dimensi pintu air saluran *bypass* dapat dilihat pada Gambar 4. Pintu air Sungai Keduang dapat dilihat pada Gambar 3.



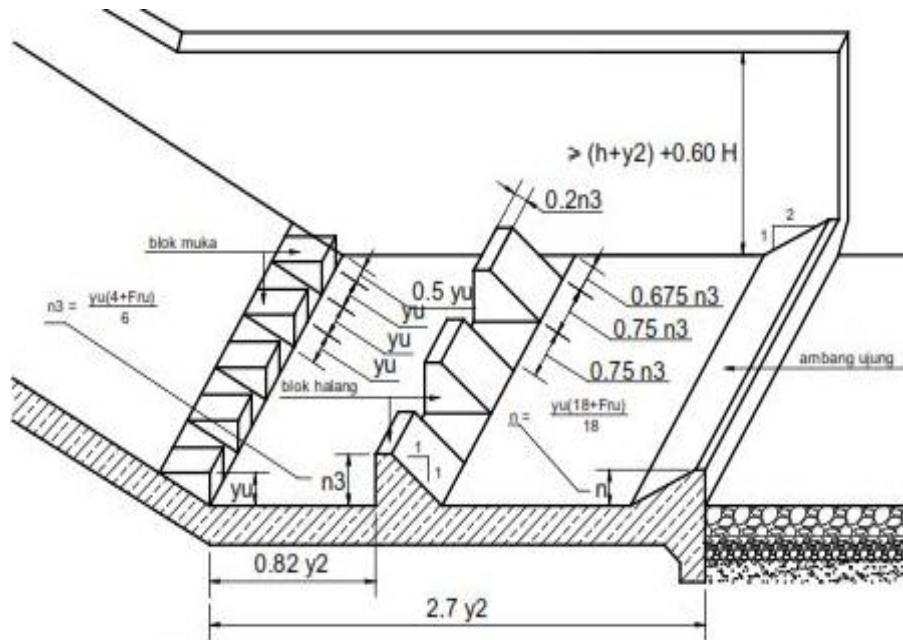
Gambar 3 Pintu Klep Sungai Keduang



Gambar 4 Pintu Air Saluran Bypass Sungai Keduang

Kolam Olak

Kolam olak direncanakan untuk meredam energi aliran akibat perbedaan tinggi yang sangat besar pada bagian hilir saluran bypass Sungai Keduang. Hasil perhitungan menunjukan angka *Froude* 12,09 ($> 4,5$) maka digunakan kolam olak USBR Tipe III. Pada Gambar 5 dapat dilihat penampang dimensi kolam olak USBR Tipe III hasil perhitungan .



Gambar 5 Penampang Kolam Olak USBR Tipe III

Keterangan

$$\begin{aligned} y_2 &= 3,06 \text{ m} \\ n &= 0,308 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_u &= 0,184 \text{ m} \\ n_3 &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Rencana Anggaran Biaya

Setelah perencanaan teknis memenuhi persyaratan, kemudian dilakukan perhitungan anggaran biaya. Biaya keseluruhan untuk pembangunan saluran *bypass* Sungai Keduang adalah sebesar Rp 217.540.837.000 (dua ratus tujuh belas milyar lima ratus empat puluh juta delapan ratus tiga puluh tujuh ribu rupiah) di luar biaya pembebasan lahan dengan durasi pelaksanaan pekerjaan selama 37 minggu.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dalam perencanaan saluran *bypass* Sungai Keduang adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisa *inflow outflow* dan neraca waduk, maka volume air yang dapat dilepas melalui saluran *bypass* Sungai Keduang rata-rata sebesar $482.044.742 \text{ m}^3$ per tahun
2. Debit operasional saluran *bypass* Sungai keduang ditentukan sebesar $10 < Q \leq 30 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan range tersebut didapat efisiensi sebesar 29,36%
3. Saluran *bypass* Sungai Keduang direncanakan memiliki panjang 7.000 m, dengan penampang saluran berbentuk persegi panjang dengan lebar 5 m dan tinggi 4 m. Kemiringan saluran sebesar 0,000735 agar dapat mengalirkan debit dengan kecepatan 2 m/s.
4. Perkuatan sisi digunakan dinding penahan tanah terbuat dari pasangan batu, dan untuk pengoperasian digunakan pintu air angkat dan pintu air klep.

5. Biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan Saluran *bypass* Sungai Keduang adalah sebesar Rp 217.540.837.000 (dua ratus tujuh belas milyar lima ratus empat puluh juta delapan ratus tiga puluh tujuh ribu rupiah) dengan durasi pekerjaan selama 37 minggu.

SARAN

Berikut saran dari perencanaan saluran *bypass* Sungai Keduang:

1. Perlu adanya perbaikan DAS pada hulu anak Sungai Bengawan Solo agar dapat mengurangi sedimentasi pada Waduk Wonogiri
2. Perlu kajian yang lebih menyeluruh dalam pembangunan saluran *bypass* Sungai Keduang mengingat besarnya volume galian dalam pembangunan saluran *bypass* yang dapat merusak ekosistem alami.
3. Diperlukan kajian alternatif penanggulangan sedimen selain dengan saluran *bypass*, mengingat dengan saluran *bypass* diperlukan waktu dan biaya yang sangat tinggi dengan nilai efisiensi yang minim

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, Ven Te., 1998, *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta.
- JICA., 2007, *Supporting Report I The Study On Countermeasures For Sedimentation in The Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir In The Republic Of Indonesia Vol.3*, Dirjen SDA Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Kodoatie, R. J, dan Sugiyanto., 2013, *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Kompas, 2 Juni 2009, “*Pemulihan Sub-DAS Keduang 10 Tahun Lebih:Menjadi ‘Kambing Hitam’ Banjir*”, Wonogiri.
- Morris, G, dan Fan, J., 2003, *Reservoir Sedimentation*, McGraw Hill, New York.
- Ruritan, R., 2005, *Pengelolaan Sedimentasi pada Waduk-Waduk Besar di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas dan Bengawan Solo*, PIT HATHI Yogyakarta, http://www.academia.edu/7595753/Pengelolaan_Sedimentasi_pada_Waduk- Waduk_Besar_di_Daerah_Aliran_Sungai_DAS_Brantas dan_Bengawan_Solo (Diakses pada 23 Mei 2016), Surakarta.
- Umayektinisa, H, dan Ajeng, N., 2015, *Kajian Pengaruh Sedimentasi Pada Kinerja Pengoperasian Waduk Serbaguna Wonogiri dan Penanganannya*, Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Diponegoro: Skripsi, Semarang.