

ASPEK-ASPEK HIDRAULIK KERUNTUHAN BANGUNAN PENGENDALI SEDIMEN KEDUNG RINGIN

HYDRAULIC ASPECTS ON KEDUNG RINGIN CHECK DAM BREACK

Karuniadi Satrijo Utomo*, Hanggoro Tri Cahyo,

*Email: utomo@mail.unnes.ac.id

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang (UNNES)

Abstrak— Keruntuhan bangunan hidraulik *check dam* merupakan suatu fenomena keruntuhan bangunan hidraulik yang penting dikaji, khususnya ditinjau dari aspek-aspek hidraulik yang menyebabkan keruntuhan bangunan. Kajian keruntuhan bangunan *check dam* dalam artikel ini mengambil kasus fenomena keruntuhan Bangunan Pengendali Sedimen (BPS) Kedung Ringin di wilayah Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa keruntuhan bangunan dipicu sufosi (*piping*) dan *boiling* oleh rembesan di bawah *spillway*. Perbaikan keruntuhan bangunan tersebut harus dilakukan dengan mengganti seluruh bagian *spillway* dengan memasang material baru disertai pengawasan yang lebih ketat dalam pekerjaan pelaksanaan mengacu pada spesifikasi teknis yang ditetapkan. Diperlukan pula pemasangan turap di bawah *spillway* baru minimal sepanjang 4 m dari dasar *spillway* untuk mengantisipasi terjadinya sufosi di masa datang.

Kata kunci — *check dam*, *spillway*, rembesan.

Abstract— Check dam break is one of hydraulic structure failure phenomena which is important to be studied, especially in the side of hydraulic aspects made check dam getting failure. Check dam break analysis in this article is taken from failure case of Kedung Ringin Check dam located in the area of Kebumen Regency, Central Java Province, Indonesia. Research results found that check dam have been failure due to piping and boiling by seepage under its spillway. Rehabilitation of that damage structure should be conducted by reconstructed all of damage parts of spillway with replacing new materials and followed with more intensively inspection according to related technical specification while constructed. It should be also important to add sheetpiles under new spillway with minimum length 4 m length measured from the bottom of new spillway for anticipating piping in the future.

words — check dam, spillway, seepage.

I. PENDAHULUAN

Keruntuhan suatu bangunan hidraulik merupakan suatu fenomena langka atau sangat jarang terjadi dan penting dikaji, khususnya dari aspek hidraulik yang menyebabkan keruntuhan bangunan. Kajian tersebut penting dilakukan tidak hanya untuk tujuan dapat mengklarifikasikan penyebab keruntuhan bangunan, tetapi juga untuk mencari solusi perbaikan kerusakan pada bangunan, dan sekaligus mendokumentasikan pokok-pokok penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan perancangan bangunan sejenis di masa datang. Melalui upaya yang terakhir disebut itu lebih lanjut akan dapat juga dilakukan upaya-upaya antisipatif terhadap kemungkinan ancaman terjadinya fenomena keruntuhan sejenis di masa datang.

Tinjauan aspek hidraulik atas keruntuhan bangunan hidraulik dalam artikel ini mengambil kasus terjadinya keruntuhan Bangunan Pengendali Sedimen (BPS) Kedung Ringin. BPS tersebut selesai dibangun oleh Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia pada Tahun Anggaran 2008 di wilayah Sungai Serayu Bogowonto Kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah. Beberapa waktu setelah bangunan tersebut beroperasi, secara tiba-tiba *spillway* pada dam tersebut jebol pada hari Sabtu, tanggal 9 Agustus 2014, disertai kerusakan parah pada bagian-bagian dari dam antara lain *spillway* dan *apron*. Peristiwa keruntuhan BPS tersebut terjadi kurang lebih pada jam 03.00 WIB waktu setempat.

Penelitian itu ditujukan untuk mengklarifikasikan sebab-sebab teknis jebolnya BPS Kedung Ringin, termasuk fokus kajian teknik pada aspek-aspek hidraulik. Selain tujuan tersebut, kegiatan tinjauan hidraulik dalam penelitian ini ditujukan pula untuk menyampaikan rekomendasi kepada pihak-pihak terkait beberapa solusi untuk perbaikan kerusakan-kerusakan pada bangunan dan solusi untuk mengantisipasi terjadinya fenomena sejenis yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan dalam tahap perencanaan dan perancangan bangunan sejenis di masa datang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Di antara 3 alternatif pilihan tipe bendungan, sebagaimana diuraikan dalam [12], yaitu: bendungan tipe homogen, zonal, dan sekat, bendungan tipe homogen dari bahan pasangan batu paling banyak dipilih untuk konstruksi Bangunan Pengendali Sedimen (BPS). Suatu waduk atau bendungan (*dam*) umumnya dibangun guna menampung air untuk beberapa tujuan pemenuhan kebutuhan air, sebagaimana dirincikan dalam [3] dan [8] antara lain untuk kebutuhan: air minum, air baku, peternakan, perikanan, drainase, navigasi, tenaga listrik, irigasi, pertambangan, industri, olah raga, rekreasi, dan estetik.

Sementara itu, BPS (*check dam*) merupakan satu diantara jenis-jenis bendungan yang dibangun untuk menangkap, menahan, dan menampung sedimen (*sediment*) untuk tujuan mengurangi besar angkutan sedimen pada aliran air sungai dan menstabilkan dasar sungai [10]. Di antara jenis *check dam*, *sand pocket* dibangun pada posisi paling hulu dari suatu sungai, yang pada umumnya berupa tanggul melintang aliran air sungai dan dilengkapi pelimpah untuk melewatkan aliran air [13]. Sedimen merupakan material yang dapat terlarut dalam aliran air atau menggelinding di dasar aliran air dan dapat juga mengendap di suatu tempat di sepanjang aliran air. Besar sedimen pada suatu tempat dinyatakan dalam satuan berat (ton atau kg). Volume sedimen pada suatu bendungan, di mana umumnya aliran air secara alami bermuara dapat memicu dampak mengurangi volume air pada tampungan bendungan. BPS tersebut digunakan untuk mereduksi sedimentasi di waduk tersebut. Publikasi hasil-hasil penelitian dengan tema reduksi volume air waduk oleh sedimen antara lain [1], [6], dan [11], sedangkan metode-metode analisis dapat dibaca dalam [7], [9] dan [14].

Rembesan (*seepage*) yang berlebihan merembes melalui pori-pori dalam tanah di bawah bendung dapat mengganggu kestabilan bendung tersebut dalam menopang beban yang bekerja padanya dan berdampak kehancuran baik oleh sufosi (*piping*) maupun oleh gaya-gaya keatas tekanan pori di dasar bendung (*up-lift pressure*) [5]. Pada bendungan tipe urugan, rembesan dapat terjadi di bawah *spillway*, bangunan yang berfungsi melimpahkan kelebihan volume air keluar dari bendungan. Rembesan yang memicu sufosi dimungkinkan dapat menimbulkan keruntuhan *spillway* jika memicu pula terjadinya sembulan (*boiling*), yaitu aliran air keluar dari tubuh bendungan atau menyembul dari dasar sungai ke permukaan aliran air sungai.

Debit rembesan pada setiap luas bidang rembesan dapat diperkirakan besarnya berdasarkan persamaan Darcy Weisbach [4] sebagai berikut:

$$q = A \cdot k \cdot i \quad (1)$$

dimana,

Q : debit rembesan tiap luas bidang rembesan (m^3/s),

A : luas bidang rembesan (m^2/s),

k : angka permeabilitas media (m/s),

i : gradien hidraulik.

Kondisi geologi setempat termasuk dalam geologi Cekungan Banyumas, informasi lebih detil kondisi tersebut dapat diacu dalam [11].

BPS Kedung Ringin dibangun di sebelah hulu Waduk Sempor, yang dibangun untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi, domestik, industri, dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA).

III. METODE PENELITIAN

Investigasi aspek hidraulik keruntuhan BPS Kedung Ringin dalam penelitian dilakukan melalui rangkaian 3 kegiatan sebagai berikut ini.

A. Penyelidikan kondisi bangunan

Penyelidikan kondisi bangunan dilaksanakan di lapangan. Kegiatan dilakukan untuk memperoleh fakta empirik atas kerusakan bagian bangunan. Kegiatan secara rinci meliputi tahapan kegiatan: (a) pengamatan langsung bangunan dan lingkungan fisik di sekitar bangunan, (b) pengukuran nilai parameter hidraulik penting yang berkaitan dengan stabilitas bangunan memakai beberapa peralatan uji langsung di lapangan, (c) pengambilan bukti-bukti fisik dari



Gambar-1. Daerah hulu (tampungan air) pada BPS Kedung Ringin.



Gambar-2. Daerah hilir BPS Kedung Ringin.



Gambar-3. Spillway pada BPS Kedung Ringin setelah jebol.



Gambar-4. Rambu ukur elevasi muka air di BPS Kedung Ringin.

bagian-bagian bangunan yang telah rusak maupun sisa-sisa reruntuhan bangunan untuk diujikan di laboratorium, (d) verifikasi gambar-gambar realisasi bangunan (*asbuilt drawing*) terhadap bagian-bagian bangunan yang masih ada dan sisa-sisa maupun bekas-bekas reruntuhan bangunan, (e) wawancara terhadap beberapa responden baik pejabat, petugas, dan masyarakat setempat yang berdomisili di sekitar lokasi bangunan, dan (f) dokumentasi bukti-bukti fisik dari bagian-bagian bangunan maupun sisa-sisa reruntuhan bangunan.

B. Analisis sebab-sebab keruntuhan bangunan

Analisis sebab-sebab keruntuhan bangunan dan kerusakan bagian-bagian bangunan yang masih tersisa didasarkan teori-teori, peraturan-peraturan bangunan yang berlaku dan berkaitan dengan aspek hidraulik bangunan pengendali sedimen. Analisis dilakukan juga berdasarkan hasil-hasil uji lapangan dan laboratorium terhadap bukti-bukti fisik dari bagian-bagian bangunan dan sisa-sisa reruntuhan bangunan.

C. Penyusunan Laporan

Bagian final dari penelitian yang dilaksanakan adalah penyusunan laporan kegiatan yang memuat rekomendasi metode perbaikan kerusakan bangunan maupun metode antisipasi terhadap kemungkinan akan terjadinya ancaman kerusakan dan kehancuran sejenis di masa datang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Survei penyelidikan kerusakan bangunan di lokasi BPS Kedung Ringin dilakukan selama 3 hari tepat pada bulan ke-3 setelah keruntuhan bangunan. Kegiatan ini ditujukan untuk mengamati bagian-bagian bangunan dan sisa-sisa reruntuhan bangunan secara langsung di lapangan dan memetik data dari lapangan untuk diujikan di laboratorium. Survei investigasi tersebut dilakukan oleh seluruh anggota tim ahli yang beranggotakan 5 orang, mencakup tenaga ahli di bidang bangunan hidraulik, geologi teknik, dan struktur.

Hasil-hasil kajian terhadap BPS Kedung Ringin divisualisasikan dalam Gambar-1 sampai dengan Gambar-4. Pada bagian hulu BPS Kedung Ringin, tampak dalam Gambar-2, seluruh tampungan air di daerah genangan telah mengalami pengurasan. Dalam keadaan beroperasi normal atau sebelum mengalami keruntuhan, elevasi muka air pada tampungan air kurang lebih berada pada ketinggian 20 cm di atas mercu *spillway*.

Spillway BPS Kedung Ringin tampak lebih jelas dalam Gambar-3. Dalam gambar ini tampak keadaan pada bagian hilir BPS Kedung Ringin. Reruntuhan material *spillway* bersama dengan endapan sedimen dari tampungan pada bagian hulu dari BPS Kedung Ringin sebagian besar tergelontor oleh tekanan air dan terbawa aliran air yang menjebol tepat pada bagian tengah *spillway*. Demikian halnya dengan material penyusun lantai depan (*apron*) pada

spillway telah turut tergelontor oleh kuatnya tekanan air dan terbawa oleh aliran air menjauhi lokasi *spillway*. Pada Gambar-3 tersebut tampak pula bahwa masih terdapat relatif cukup banyak sisa-sisa material runtunan bagian-bagian *spillway* yang berserakan di zona bagian hilir *spillway*, termasuk di sekitarnya zona Lantai Depan dari *spillway*. Namun demikian, plat pelindung bagian puncak (*crest*) *spillway* tampak masih dapat bertahan dari lendutan oleh berat sendiri dan tarikan akibat terjadinya runtunan-runtunan material yang telah diuraikan terdahulu.

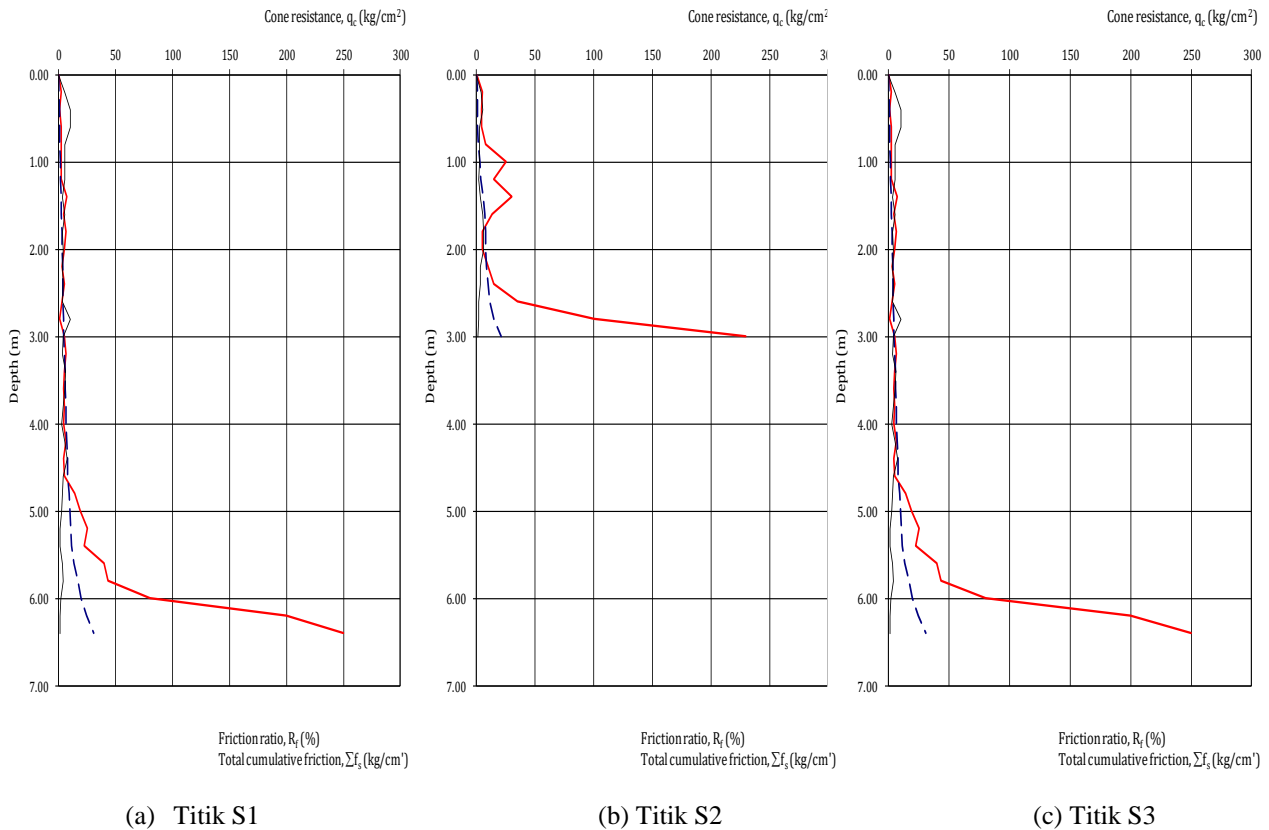
Pemakaian lantai depan (*up-stream apron, U-S apron*) dan lantai belakang (*down-stream apron, D-S apron*) untuk mengantisipasi debit rembesan di bawah *spillway* belum memadai karena lantai belakang tidak tampak dilengkapi dengan pipa-pipa drain untuk mengalirkan debit rembesan ke atas dari bawah *spillway*. Pipa-pipa drain tersebut penting ditempatkan di bagian lantai depan maupun lantai belakang karena dapat sekaligus difungsikan sebagai pipa pelepas tekanan air ke atas (*uplift*) ke dasar *spillway*.

Debit rembesan yang mengalir di bawah *spillway* diperkirakan berdasarn pada persamaan Darcy Weisbach pada persamaan (1). Besar debit rembesan tersebut sebesar $2.340 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = ([2.0,5.(3+6).50]).1 \times 10^{-5} .[(75-65.75)/54.80]$. Debit dihitung dengan estimasi angka permeabilitas media (*k*) sebesar $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ untuk material lanau-lempung dengan mengacu [2] dan [4]. Gradien hidraulik (*i*) dihitung berdasarkan pada peta topografi dan dimensi bangunan dalam kandungan gambar pelaksanaan bangunan (*asbuilt drawing*). Demikian halnya, untuk luas bidang rembesan (*A*) diperoleh juga dari gambar pelaksanaan bangunan ketika verifikasi dimensi bangunan terhadap gambar pelaksanaan bangunan dilaksanakan pada saat survei investigasi.

Adapun fenomena jebolnya *spillway* pada BPS Kedung Ringin dapat diklarifikasikan sebagai berikut: (a) Rembesan di bawah *spillway* memicu rongga aliran air sufosi di bawah *spillway*, (b) Sufosi mulai terjadi ketika muncul bocoran atau sembulan di sebelah hilir dari lantai belakang *spillway*,



Gambar-5. Sisi hulu *spillway* pada BPS Kedung Ringin.



Gambar-6. Hasil uji kuat dukung tanah di lokasi *spillway*.

(c) Sufosi makin besar dari waktu ke waktu karena rongga sembulan di hilir *spillway* makin besar dan tanah dasar di sekeliling rongga sufosi di bawah *spillway* tergerus aliran air serta terbawa arus aliran air ke hilir di mana terjadi sembulan, (d) Daya dukung tanah dasar di bawah *spillway* lenyap, (e) *Spillway* dan lantainya mengalami penurunan akibat berat sendiri, sehingga pasangan batu belah pada *spillway* dan lantainya mengalami keretakan, (f) Beton bertulang pelindung (selimut) tubuh *spillway* mengalami keretakan oleh gaya tarik yang ditimbulkan oleh keruntuhan pasangan batu belah pada *spillway*, selain itu beton bertulang selimut *spillway* juga mengalami keretakan oleh gaya tarik yang ditimbulkan oleh dan gaya-gaya statik dan dinamik oleh air dan sedimen yang bekerja pada *spillway*. Keretakan tersebut mulai dari sisi kiri *spillway* dan selanjutnya menyebar ke kanan *spillway* membentuk setengah lingkaran, (g) Pasangan batu belah penyusun tubuh *spillway* dan beton bertulang pelindung *spillway* terdorong ke hilir sehingga runtuh oleh gaya-gaya statik dan dinamik air dan sedimen yang bekerja dan berat sendiri pasangan batu belah, dan (h) aliran air dan sedimen dari

tampungan air di hulu *spillway* terus mengalir sehingga mencuci dan mendorong runtuhnya material *spillway* dan lantai depan yang berada di zona sekitar lubang pada *spillway*.

Hasil penyelidikan di lapangan dan *review* terhadap gambar realisasi bangunan (*asbuilt drawing*) menunjukkan bahwa realisasi *spillway* yang telah dimuat dalam dokumen, yaitu dalam bagian gambar situasi (*layout*) dan gambar potongan lintang bangunan utama (*cross section*) BPS Kedung Ringin. Namun demikian, gambar *spillway* pada kedua dokumen gambar tersebut tidak sesuai antara satu dengan lainnya karena posisi bangunan pada satu gambar berkebalikan (bagian depan dan belakang bangunan) dengan posisi bangunan tersebut pada gambar lainnya.

Pengujian kembali kuat dukung tanah dilakukan di lapangan pada 3 lokasi uji di sekitar *spillway* memakai peralatan sondir. Visualisasi ketiga lokasi pengujian tersebut dapat dicermati dalam Gambar-1 dan Gambar-2 pada uraian terdahulu. Sedangkan hasil-hasil pengujian tanah yang telah dilakukan tersebut ditampilkan dalam Gambar-6.

V. PENUTUP

A. Simpulan

BPS Kedung Ringin mengalami kerusakan dengan kondisi bagian *spillway* dalam keadaan hancur setelah jebol oleh semburan aliran air bercampur sedimen dari bagian tampungan dan berat sendiri bagian *spillway* akibat rembesan berlebihan, yang disusul sufosi dan sembulan. *Spillway* pada BPS Kedung Ringin dapat dan perlu segera diperbaiki agar dapat berfungsi kembali, sedangkan *apron* pada BPS Kedung Ringin hanya dapat dibangun kembali agar dapat berfungsi.

B. Saran

Beberapa saran untuk perbaikan BPS Kedung Ringin disampaikan sebagai berikut: 1) mengganti seluruh bagian *spillway* yang hilang terbawa arus aliran air dengan memasang material baru disertai pengawasan lebih ketat dalam pekerjaan pelaksanaan mengacu pada spesifikasi teknis yang ditetapkan. 2) memasang turap (*sheet piles*) di bawah *spillway* untuk perbaikan, misal sepanjang 4 m dari elevasi dasar pelimpah. Turap di bawah *spillway* tersebut berfungsi untuk: (a) mereduksi besar debit rembesan air di bawah *spillway*, (b) membelokkan arah aliran air di bawah *spillway* sehingga tidak langsung mengarah horizontal dari hulu ke hilir pada *spillway*, (c) menahan tekan air horizontal dari massa tanah di bawah *spillway*, (d) menopang berat *spillway* dengan menyatukan bagian atas turap memakai plat beton bertulang (*slab*) sebagai dasar *spillway*, dan (d) menghindarkan/menahan terjadinya lubang pemicu bahaya sufosi di tanah bawah *spillway* oleh berbagai jenis satwa air.

ACKNOWLEDGEMENT

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kepala Kepolisian Resor (Kapolres) Kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah Republik Indonesia atas dukungan yang disampaikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terimakasih disampaikan pula kepada Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang atas kerjasama dan dukungan yang telah disampaikan selama penelitian, termasuk penggunaan fasilitas-fasilitas dan peralatan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aulawi, A.A. 1994. Pengaruh *Erosi dan Sedimentasi terhadap Umur Waduk Saguling di Daerah Aliran Sungai Citarum*. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (tidak dipublikasikan).
- [2] Budhu, M. 2010. *Soil Mechanics and Foundations*. Edisi ke-3. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Chaturvedi, M.C. 1992. *Water Resources System Planning and Management*. Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited.
- [4] Craigh, R.F. 1994. *Mekanika Tanah*. Edisi ke-4. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [5] Gark, S.K. 1978. *Irrigation Engineering and Hydraulic Structures*. Second Edition. Delhi: Knanna Publisher.
- [6] Kironoto, B. dan Jayadi, R. 2008. "Kajian Penanganan Sedimentasi dengan Waduk Penampung Sedimen pada Bendungan Serbaguna Wonogiri". *Forum Teknik Sipil*, No. XVII, 879-887.
- [7] Loucks, D.R., Sedinger, J.R. and Haith, D.A. 1981. *Water Resources System Planning and Analysis*. Toronto: Prentice-Hall Inc.
- [8] Mays, W.L. 1996. *Water Resources Handbook*, USA: McGraw Hill Companies, Inc.
- [9] McMahan, T.A. and Russel, G.M. 1978. *Reservoir Capacity and Yield*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- [10] Porto, P. dan Gessler, J. 1999. "Ultimate Bed Slope in Calabrian Streams Upstream of Check Dams: Field Study", *J. Hydraul. Eng.*, 125, 1231-1242.
- [11] Purwasatriya, E.B., Surjono, S.S. dan Amijaya, H. 2019. "Sejarah Geologi Pembentukan Cekungan Banyumas serta Implikasinya terhadap Sistem Minyak dan Gas Bumi". *Dinamika Rekayasa*, Vol. 15, No. 1, 23-31.
- [12] Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. 2002. *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: Pradnya Paramita PT.
- [13] Sutopo, Y., Utomo, K.S., Ghifari, S.Z. dan Nurokhman. 2016. "Perencanaan Sand Pocket sebagai Bangunan Pengendali Aliran Sedimen di Kali Opak Yogyakarta". *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*. Vol. 18, No. 2, 107-113.
- [14] Wurbs, R.A. 1996. *Modelling and Analysis of System Reservoir System Operation*. Toronto: Prentice-Hall Inc.

