

## PERBAIKAN REMBESAN DENGAN DINDING HALANG PADA TUBUH BENDUNGAN

Pranu arisanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Pekerjaan Umum

Jl. Prof. Soedarto, SH – Tembalang, Semarang 50275 (024) 6720516

E-mail: arisanto\_83@yahoo.com

### ABSTRAKS

Pembangunan bendungan sangat erat kaitannya dengan pertimbangan keamanan dari resiko keruntuhan bendungan. Salah satu faktor keruntuhan bendungan adalah rembesan yang tidak termonitoring dan terkendali. Rembesan dapat terjadi pada pondasi bendungan maupun tubuh bendungan. Pada bendungan tipe urugan, rembesan yang membawa material mengindikasikan proses piping berlangsung, jika piping tidak dikendalikan pada skala tertentu dapat berakibat pada runtuhnya bendungan. Rembesan pada bendungan tipe urugan homogen dapat dikendalikan salahsatunya dengan pembuatan dinding halang. Dinding halang pada umumnya dilakukan pada pondasi bendungan untuk memperbaiki kondisi lapisan tanah yang porus, namun dapat juga diaplikasikan di tubuh bendungan (bendungan terbangun) untuk mengendalikan rembesan. Salahsatu metode pembuatan dinding halang adalah pembuatan puritan pada tubuh bendungan, dilanjutkan memasukkan beton plastis atau bentonite yang berfungsi sebagai lapisan kedap air. Pemilihan metode tersebut dipengaruhi oleh kebutuhan kedalaman dan kondisi bangunan disekitarnya. Pada pelaksanaan dinding halang di bendungan Penjalin, metode drilling dipilih dengan pertimbangan lokasi pekerjaan yang dekat dengan menara intake.

**Kata Kunci:** Bendungan, dinding halang, rembesan

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Bendungan memiliki fungsi untuk mempertahankan tampungan air semaksimal mungkin sehingga dapat dimanfaatkan untuk menampung debit banjir dan distribusi air pada lokasi yang membutuhkan. Fungsi waktu sangat penting dalam penatausahaan tampungan sehingga tepat ruang pada waduk yang dibutuhkan untuk menampung debit banjir, sekaligus tepat volume untuk digunakan pada musim kering (Samosir dkk, 2015). Kondisi fluktuasi air waduk tersebut turut berpengaruh pada kondisi tubuh bendungan terutama untuk bendungan tipe urugan homogen (Rahman dkk, 2014). Bendungan tipe urugan homogen memiliki struktur tanah yang hampir sama pada keseluruhan tubuh bendungan. Fungsi tubuh bendungan sebagai penyangga dan penahan rembesan terletak pada kemampuan hampir pada keseluruhan material. Kondisi tersebut menyebabkan terbatasnya ketinggian bendungan yang ideal untuk konstruksi bendungan tipe urugan ini, juga membutuhkan pengawasan yang ketat pada proses

perencanaan dan pengawasan oleh ahli bendungan. Pelaksanaan bendungan urugan tipe homogen secara umum lebih mudah dibandingkan dengan bendungan dengan tipe urugan tanah zonal. Dengan pertimbangan bendungan urugan tanah dapat dibangun hampir disemua kondisi geografi dan geologi, kondisi tersebut membuat banyak dari bendungan di pulau Jawa dibangun dengan konstruksi tanah urugan (Suyono dkk, 1989).

Keamanan bendungan terletak pada kemampuan tubuh bendungan dan bangunan pelengkap untuk menahan air dan mengeluarkan air secara terencana tanpa mengakibatkan perubahan fisik dan fungsi dari masing-masing bangunan tersebut. Bendungan tipe urugan khususnya tipe homogen sangat rentan akan keruntuhan yang diakibatkan *overtopping* dan *piping*. *Overtopping* terjadi salahsatunya akibat ketidak mampuan *spillway* atau bangunan pengeluaran lainnya untuk melewatkan debit banjir dengan kala ulang tertentu sehingga air melewati bagian puncak tubuh bendungan (Permen PU nomor 27). Bendungan urugan tanah yang terlewat air dipuncaknya

(*overtopping*) sudah tidak akan stabil dan mengalami keruntuhan. Sedangkan *piping* adalah kondisi rembesan yang berada di tubuh bendungan yang tidak terkendali dan membawa material terjadi erosi internal. *Piping* dapat berupa munculnya lubang pada tubuh bendungan yang disertai aliran air yang membawa material bendungan sehingga terjadi gerusan dan mengakibatkan bendungan runtuh. Kondisi *piping* dapat dikendalikan dengan pemantauan yang seksama baik dari proyeksi tekanan air pori dan *V nocth* (Ata dkk, 2017).

Dengan data pengukuran dan pengamatan tekanan air pori, aliran *freatik* dapat tergambar didalam tubuh bendungan. Aliran *freatik* ini merupakan garis imajiner yang dibuat dengan menghubungkan hasil pembacaan *tekanan air pori* sehingga titik keluar air rembesan di *downstream* dapat diperkirakan. Inspeksi visual juga perlu dilakukan untuk memverifikasi hasil penggambaran garis *freatik* di hilir tubuh bendungan dengan pertanda lokasi yang basah, perkembangan rumput disuatu tempat yang lebih subur dari tempat lain dan genangan air yang secara jelas terlihat mengalirkan air (Mola, 2019).

Pemantaun debit dan kondisi air yang melalui *v nocth* untuk mengetahui kondisi rembesan didalam tubuh bendungan. Air rembesan bendungan yang terencana di desain masuk saluran melalui *toe drain*. Debit di *v nocth* merupakan rangkaian pengamatan yang diselaraskan dengan kondisi Muka air di tampungan bendungan dan tekanan air pori dalam tubuh bendungan. Selain besarnya debit yang diamati, kondisi kejernihan air juga termuat dalam laporan pengamatan. Kondisi kejernihan air rembesan merupakan salahsatu indikasi aliran rembesan membawa material atau merupakan rembesan yang terjadi secara normal (Omofunmi dkk, 2017).

Pada beberapa bendungan, rembesan dapat diakibatkan juga oleh aliran air tanah dari bagian pondasi dan atau tumpuan kanan/kiri tubuh bendungan. Pengamatan terhadap aliran air tanah tersebut juga penting untuk diamati. Kondisi mengalirnya rembesan pada *v nocth* yang tidak selaras dengan elevasi muka air tampungan bendungan menjadi salah satu indikasi rembesan tersebut berasal dari aliran air tanah karena tidak selaras dengan naik

turunnya elevasi muka air tampungan (Zumrawi, 2015)

Permasalahan rembesan menjadi salahsatu kondisi yang sering mengakibatkan keruntuhan bendungan. Berikut beberapa contoh rembesan bendungan yang berkembang menjadi *piping* dan dalam waktu yang relative singkat kemudian mengakibatkan keruntuhan bendungan (Sharma dan Kumar, 2013):

a. Bendungan Teton

Bendungan Teton memiliki tinggi 93 m, dan panjang tubuh bendungan 975 m. Bendungan Teton merupakan bendungan urugan tanah yang runtuh pada pengisian awal. Panel ahli bendungan yang dibentuk untuk melakukan investigasi menduga keruntuhan akibat adanya rembesan di tubuh bendungan. Erosi internal menyebabkan aliran yang membawa material sehingga tubuh bendungan mengalami keruntuhan selain akumulasi berbagai kondisi yang lainnya terkait struktur bendungan urugan yang mengalami penurunan awal dan pada saat pengisian awal.

b. Bendungan Baldwin Hill

Bendungan yang berada Los Angeles, dengan tinggi 71 m dan Panjang tubuh bendungan 198 m memiliki kapasitas 1,1 juta m<sup>3</sup>. Setelah beroperasi selama 12 tahun, pada tanggal 14 desember 1963 pukul 11:15 malam terdengar aliran di pipa *spillway* dan mengarah ke bawah lapisan *reservoir*. Sekitar pukul 1:00 pagi kebocoran dengan membawa lumpur ditemukan dihilir bendungan. Penurunan air tampungan menunjukkan celah bocoran pada hulu bendungan. Upaya yang dilakukan dengan menambal bocoran tersebut ternyata sia-sia sampai dengan air ditampungan habis pada pukul 5:00 pagi.

Dari beberapa contoh tersebut, penanganan kondisi keamanan bendungan khususnya rembesan baik pada pengisian awal maupun pada kondisi operasi sangat penting untuk diperhatikan dan perlu penanganan untuk mencegah musibah keruntuhan bendungan.

**1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan rembesan yang terjadi di bendungan perlu mendapatkan penanganan. Resiko yang ditimbulkan dari akumulasi rembesan dapat berakibat pada tidak stabilnya bendungan dan terjadi kegagalan struktur. Resiko kegagalan bendungan berakibat pada daerah di hilir bendungan. Semakin banyak dan padat penduduk dihilir bendungan semakin tinggi klasifikasi resiko bencana yang timbulkan. Dalam gambar 1, ditunjukkan kondisi hilir bendungan Penjalin yang berpotensi menerima resiko bencana jika bendungan runtuh. Dalam pedoman teknis klasifikasi bahaya bendungan dapat disimpulkan kondisi bendungan Penjalin tersebut masuk kedalam kategori kelas bahaya sangat tinggi, sehingga penanganan rembesan yang terjadi menjadi salahsatu prioritas pengelola bendungan agar keamanan bendungan tetap terjaga.

Penentuan klasifikasi kelas bahaya sangat tinggi antara lain dari penilaian faktor-faktor sebagai berikut :

- a. Jika di daerah hilir terdapat kota dengan penduduk lebih dari 200 kk, dapat langsung dikategorikan sangat tinggi.
- b. Dapat juga ditetapkan dari jarak, jika jumlah penerima resiko (penRis) dengan jarak dari bendungan 0-5 km > dari 1000 (orang)(komulatif) maka masuk dalam kategori 4 (bahaya sangat tinggi). Dari kondisi dokumentasi pada Gambar 1. Kondisi tersebut tergambarkan dengan jelas.



Gambar 1. Kondisi Tampilan Bendungan Penjalin Dan Pertumbuhan Pemukiman di Daerah Hilir (Sumber : BBWS Pemali Juana, 2018)

Kondisi tersebut menuntut pengelola bendungan untuk melakukan perbaikan atauantisipasi terhadap kondisi bendungan Penjalin. Dari hasil pemantauan, kususnya rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan Penjalin telah mengindikasikan gambaran garis *freatik* yang mengarah pada muka hilir bendungan. Menindak lanjuti kondisi tersebut, langkah antisipasi dan perbaikan bendungan yang sudah terbangun seperti bendungan penjalin ini dilakukan dengan membuat lapisan kedap air di *upstream* tubuh bendungan dan pemasangan instrumentasi pengawatan tekanan air pori di hulu dan hilir tubuh bendungan.

Dalam penulisan ini pembahasan dilakukan pada rehabilitasi bendungan Penjalin di Provinsi Jawa Tengah, dengan melakukan pembuatan dinding halang. Metode pembuatan dinding halang pada tubuh bendungan yang dilakukan dengan menggunakan *Hydrolic Kelly Grab* namun mendekati bangunan menara *out let* bendungan getaran yang timbulkan *Hydrolic Kelly Grab* cukup besar sehingga menghawatirkan terhadap kesetabilan menara *out let* bendungan. Metode yang dipilih untuk melanjutkan pelaksanaan dinding halang di dekat menara *out let* dilanjutkan dengan metode *drilling*.

**2. PEMBAHASAN**

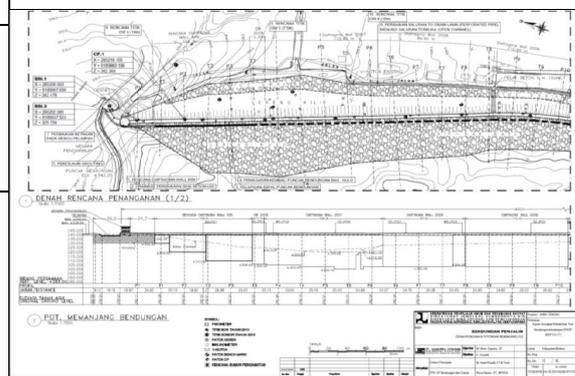
Konstruksi dinding halang dapat dilakukan dengan beberapa metode dan peralatan yang mendukung. Karena pekerjaan pada bendungan Penjalin dilaksanakan pada bendungan existing pemilihan metode dan peralatan, kususnya alat berat yang digunakan menjadi salah satu pertimbangan. Tabel 1. Menunjukkan karakteristik dinding halang dengan berbagai parameter metode kerja, material pengisi, sambungan, kedalamam dan jenis tanah.

Tabel 1. Karakteristik *Cutoff Wall* dinding halang (ICOLD,Bulletin 129,2005) dalam pedoman pembuatan dinding halang (cut-off wall) pada bendungan urugan, 2005)

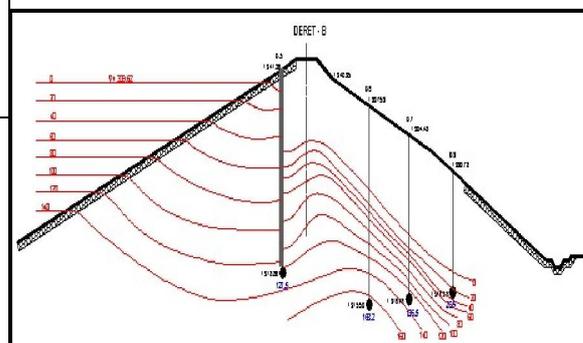
| Jenis Konstruksi | Cara penggalian dan atau pemasangan | Matrial Pengisi | Kedal amam maksimum (m) | Jenis Tanah |
|------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------|
|------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------|

| Jenis Konstruksi  | Cara penggalian dan atau pemasangan                      | Matrial Pengisi                                    | Kedalaman maksimum (m) | Jenis Tanah                                                                |
|-------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Dinding Diafragma | Clamshell mekanik                                        | Bentonite                                          | 50                     | Tanah penutup (over burden)                                                |
| Dinding Diafragma | Clamshell mekanik                                        | Beton konvensional atau beton plastis              | 120                    | Tanah penutup (over burden)                                                |
| Dinding Diafragma | Clamshell mekanik (Kelly grab)                           | Bentonite / semen / beton (konvensional / plastis) | 50-60                  | Tanah penutup                                                              |
| Dinding Diafragma | Mesin pemotong (teknik pemotongan dengan sirkulasi baik) | Slari bentonite / semen                            | 50                     | Tanah penutup batuan terlapuk, batuan sampai 100 Mpa ( dengan alat khusus) |
| Dinding Diafragma | Mesin pemotong (teknik pemotongan dengan sirkulasi baik) | Beton konvensional atau plastis                    | 150                    | Tanah penutup batuan terlapuk, batuan sampai 100 Mpa ( dengan alat khusus) |
| Dinding Slari     | Dragline. Shovel mekanis                                 | Bentonite tanah atau bentonite semen               | 15-20                  | Tanah penutup                                                              |
| Dinding tiang     | Downhole hammer drilling                                 | Beton                                              | 50                     | Batuan keras over burden                                                   |

dalam *Spesial Study* Penjalin 2013); Debit rembesan langgeng (*steady seepage*) sepanjang tahun 1978-1990 sebesar 3,9 lt/s pada elevasi muka air waduk + 338 m dan sebesar 8,9 lt/s pada elevasi muka air waduk +339,5 m (BBWS Pemali Juana, 2012)



Gambar 2. Denah Rencana Diaphragma Wall (sumber : BBWS Pemali Juana, 2012)

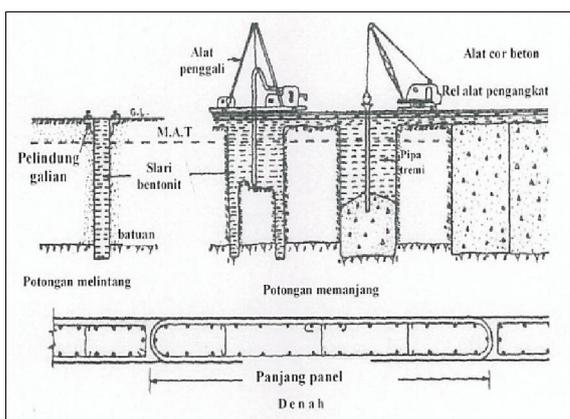


Gambar 3. Kontur Tekanan Air Pori Pada Penampang Terdalam (sumber : BBWS Pemali Juana, 2012)

Pelaksanaan dinding halang pada bendungan Penjalin dilaksanakan secara bertahap sesuai dengan gambar 2, sampai dengan tahun 2008 total panjang diafragma wall yang sudah dipasang pada Waduk Penjalin sepanjang 487.10 m, sedangkan panjang bendungan seluruhnya sekitar 842 m. Dari laporan pemantauan masih ditemukan rembesan yang tergambar pada gambar 3, dengan kondisi tersebut(studi ACE ltd,1998

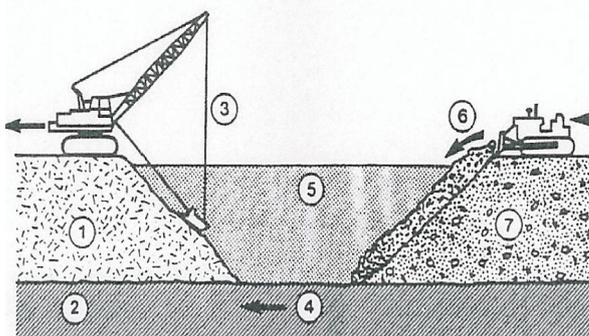
Sampai dengan pelaksanaan konstruksi pembuatan dinding halang pada tahun 2008 menggunakan metode *Hydrolic Kelly Grab*. Metode pelaksanaan *cutoff wall* slari bentonite dengan cara menggali paritan dengan lebar 1 sampai dengan 3 m pada lapisan lolos air. Berikut metode *cutoff wall* dengan alat *Hydrolic Kelly Grab*. Dalam pedoman pembuatan dinding halang (*cutoff wall*) untuk kedalam sekitar 25 m alat yang cocok digunakan salah satunya adalah *Hydrolic Kelly Grab*. Dalam pelaksanaan penggalian paritan *slari* dibuat paritan berm sebagai level permukaan kerja sekaligus sebagai dinding galian.

Dalam pedoman pelaksanaan dinding halang (*cut – off wall*) pada bendungan urugan yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat sungai danau dan waduk tahun 2005 menjelaskan proses pelaksanaan *slari bentonite* pada Gambar 4, dengan melakukan galian dan kemudian melakukan pengisian lubang galian dengan matrial kepad air. Pada Gambar 5. ditunjukkan juga teknik pembuatan paritan, yang pada perinsipnya sama namun pemilihan peralatan dan metode kerja dapat beraneka ragam sesuai dengan kebutuhan dilapangan.



Gambar 4. Proses pelaksanaan *slari bentonite*

(Sumber : Pedoman pembuatan dinding halang (cutoff wall) pada bendungan urugan)



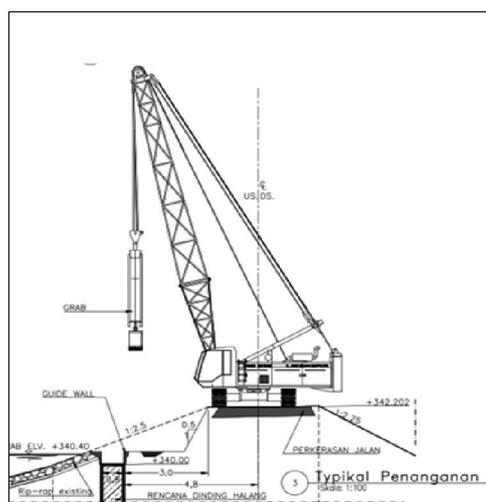
Gambar. 5 Teknik Pembuatan Dinding Halang Paritan Slari Bentonite-Tanah (ICOLD 1985)

(Sumber : Pedoman pembuatan dinding halang (cutoff wall) pada bendungan urugan)

Dalam pedoman tersebut juga dijelaskan alternative pemilihan alat dan *lesson learned*

pada pembuatan dinding halang yang pernah dilakukan di Indonesia, antara lain:

- a. Bor putar (*rotary drilling*), dengan perlatan ini dinding halang dibuat dengan deretan tiang menerus. Dilaksanakan pada bendungan Jatiluhur pada tahun 1999, dengan fungsi untuk melindungi V nocth dari pengaruh air di *tail race*. Teknik ini juga dibunakan pada pembuatan *pilot hole* dinding halang bendungan Wonorejo pada tahun 1996.
- b. *Long Wall Drill (Tone)*, digunakan pada pembuatan dinding halang bendungan Wonorejo, karena spesifikasi alat yang tidak sesuai dengan kondisi pondasi kemudian dibantu dengan bor putar.
- c. *Hydraulic Kelly Grab Crane Kelly, crane grab system* kabel dan *crane mould system* kabel, digunakan pada pembuatan dinding halang diafragma pada rehabilitasi bendungan Penjalin tahun 1995.



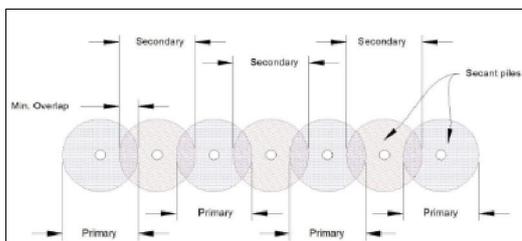
Gambar 6 *Hydraulic Kelly Grab* yang digunakan pada penggalian Dinding halang di Bendungan Penjalin (Sumber : RMK (rencana mutu kontrak) Pelaksaan Rehabilitasi Bendungan Penjalin, 2019)

Pelaksanaan pembuatan dinding halang di bendungan Penjalin menggunakan *Hydraulic kelly Grab* untuk menggali paritan yang kemudian diisi dengan bentonite sebagai

lapisan kedap air untuk pencegahan rembesan atau menurunkan lengkung garis *freatik* bendungan. Cara kerja *Hydrolic kelly Grab* dengan menjatuhkan grab dengan ketinggian tertentu, kondisi tersebut tentu mengakibatkan getaran yang cukup besar. Karena posisi pelaksanaan pekerjaan yang direncanakan semakin mendekati dengan menara intake, geratan yang dihasilkan dari *grabe* tersebut dikawatirkan akan mempengaruhi kondisi menara intake bendungan.

Pada SS Penjalin tahun 2012 metode penggalian dilakukan dengan *Hydrolic Kelly Grab* sesuai dengan metode yang digunakan pada pembuatan *cutoff wall* sebelumnya. Namun karena lokasi pekerjaan sekarang berdekatan dengan menara intake bendungan, sehingga getaran yang ditimbulkan dikawatirkan akan berdampak terhadap menara intake bendungan. Setelah diadakan diskusi pra-pelaksanaan fisik dengan berbagai pihak terkait, didapatkan beberapa alternatif metode pelaksanaan *cutoff wall* pada bendungan Penjalin salahsatunya dengan metode *drilling*.

Pada prinsipnya metode *drilling* sama dengan *Hydrolic Kelly Grab* yaitu membuat paritan, namun mengganti *grab* dengan mesin bor. Hal ini diharapkan getaran yang terjadi tidak sebesar yang dihasilkan apabila menggunakan *Hydrolic Kelly Grab*. Gambar 7 berikut adalah skema *drilling* yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan agar tebal dinding halang yang direncanakan didapatkan dan menghindari keruntuhan galian, serta overlapping antara galian satu dengan yang lainnya.



Gambar .7 Skema tahapan pelaksanaan dinding halang dengan bore (Sumber : U.S Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2014)

Tahapan pelaksanaan konstruksi dinding halang pada bendungan Penjalin sesuai dengan gambar 8. Sebagai berikut ;



Gambar 8. Pelaksanaan (a) Guide wall (Sumber : BBWS Pemali Juana 2019)



Gambar 8. Pelaksanaan (b) drilling (Sumber : BBWS Pemali Juana 2019)



Gambar 8. Pelaksanaan (c) Bentonite (Sumber : BBWS Pemali Juana 2019)



Gambar 8. Pelaksanaan (d) Hasil cutoff wall  
(Sumber : BBWS Pemali Juana 2019)

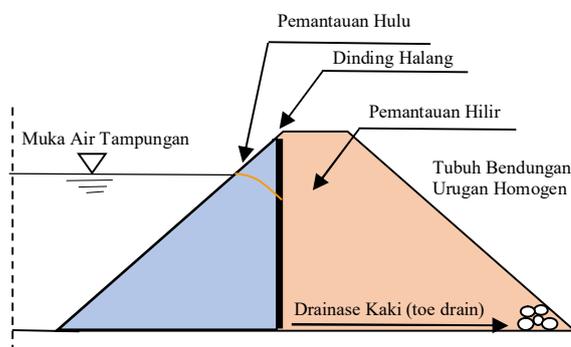
Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan dinding halang pada bendungan Penjalin antara lain :

- a. Setelah seluruh pekerjaan persiapan selesai, meliputi pengukuran dan *uitset*, lokasi yang telah ditetapkan digali sesuai ukuran *guide wall* dan dilakukan pengecoran *guide wall* seperti pada gambar 8.a. Fungsi dari *guide wall* untuk menjadi panduan pengeboran baik untuk arah kelurusan maupun ketegakkan alat bor. Penentuan posisi ini sangat penting karena akan menentukan arah lubang dan ketepatan antara lubang satu dengan yang lainnya. Seperti dijelaskan sebelumnya pada gambar 7 tahapan dan *overlapping* antar galian juga menentukan tebal dan kaitan antara satu lubang dengan lubang yang lainnya.
- b. Proses berikutnya adalah *drilling* tubuh bendungan. Pada gambar 8.b pengeboran dilakukan pada lereng hulu bendungan. Pengeboran dilakukan dengan hati-hati mengingat bendungan urugan tanah cukup rentan terhadap air yang masuk dan getaran yang timbulkan oleh mesin dari alat berat tersebut. Proses pengeboran didampingi dengan ahli pengukuran untuk memastikan ketepatan posisi dan kulurusan arah pemboran.
- c. Lubang bor yang telah sesuai dengan elevasi yang dituju (kedalamannya) sesegera mungkin diisi dengan matrial

kedap air (*bentonite*), untuk mencegah kemungkinan masuknya air dan atau terjadinya longsoran. Karakteristik campuran dan formula *bentonite-semen* dalam kaitannya untuk menahan rembesan memerlukan pembahasan yang lebih detail, sehingga dalam tulisan ini tidak dikupas secara tuntas.

- d. Proses pelaksanaan bor dan memasukkan material disesuaikan dengan gambar 7, didahului dengan lubang dengan kode primer terlebih dahulu sekaligus memasukkan material kedalam setiap selesai melakukan *drilling* pada satu lubang. Setelah satu lubang selesai baru dilanjutkan ke lubang berikutnya sampai seluruh lubang berkode primer selesai dikerjakan. Pelaksanaan *drilling* pada lubang sekunder harus memperhatikan kondisi matrial isian (*bentonite-semen*) apakah sudah mengeras sesuai rencana atau perlu menunggu terlebih dahulu. Pelaksanaan bor pada lubang sekunder dilakukan bersebelahan dengan pengeboran lubang primer yang paling awal, dengan harapan matrial pengisi sudah stabil. *Overlapping* antara lubang perlu diperhatikan, dengan mengikuti *guidewall* arah dan *overlapping* seharusnya sudah dapat dicapai sesuai desain.

Untuk memantau kondisi tekanan air pori sekaligus untuk melakukan evaluasi pelaksanaan dinding halang, pada hulu dan hilir dinding halang dipasang instrumentasi pemantauan tekanan air pori. Kemampuan dinding halang untuk menjadi lapisan kedap, menurunkan tekanan air pori di hilir tubuh bendungan dapat terpantau. Dengan menurunnya tekanan tersebut diharapkan rembesan dapat masuk ke *toedrain* dan dapat teramati oleh *v nocth*. Gambar 8. Menjelaskan letak dan arah aliran rembesan menuju ke *toedrain* sehingga rembesan dapat dikendalikan paska konstruksi dinding halang. Kemungkinan terjadinya kebocoran pada dinding halang menjadi kemungkinan terburuk dari kesalahan pelaksanaan pekerjaan dan kondisi tersebut dapat dimonitoring oleh instrumentasi tekanan air pori pada hilir tubuh bendungan.



Gambar 8. Bendungan Tipe Homogen dengan Dinding Halang

### 3. Kesimpulan

Pelaksanaan rehabilitasi bendungan, khususnya untuk bendungan lama (terbangun) dengan tujuan mengurangi rembesan salah satunya dengan teknik rekayasa konstruksi dinding halang. Dinding halang di tubuh bendungan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan material kedap air. Namun yang penting untuk diperhatikan adalah pada saat pelaksanaan pekerjaan, metode pelaksanaan dan efek yang ditimbulkan dari pelaksanaan itu tidak mempengaruhi kesetabilan struktur bangunan utama maupun bangunan pendukung yang lainnya.

Dinding halang pada bendungan Penjalin yang dilakukan secara bertahap dan sebelumnya dilakukan dengan metode paritan menggunakan *Hydrolic Kelly Grab* dapat dilakukan pada lokasi tengah bendungan, namun dengan pertimbangan getaran yang diakibatkan oleh alat tersebut maka metode diubah menggunakan *drilling*. Dengan metode *drilling* sendiri perlu memperhatikan tahapan-tahapan dan overlapping dari setiap pemboran agar ketebalan dinding halang rencana dapat tercapai dan tidak terdapat kebocoran di titik *overlapping*. Overlapping antara dinding halang yang baru dan dinding halang yang sudah terkonstruksi pada tahun-tahun sebelumnya perlu dilakukan evaluasi. Material kedap air yang digunakan sebagai bahan isian dinding

halang juga perlu untuk dikaji lebih mendalam.

Pada penulisan ini pembahasan masih berada pada kajian umum dan metode pelaksanaan. Keberhasilan konstruksi dinding halang juga erat kaitannya oleh beberapa faktor yang lainnya yang memerlukan penelitian lebih mendalam salah satunya kemampuan material untuk menjadi bahan yang kedap air dan bersifat elastis, sehingga mampu mengikuti pergerakan bendungan. Konstruksi dinding halang yang relatif tipis sangat beresiko terhadap penurunan atau adanya aktifitas kegempaan. Inti kedap air atau dinding halang dapat patah (*displasment*) sehingga akan terdapat bagian lolos air dan terkonsentrasi pada satu titik. Kondisi tersebut sangat berbahaya jika bendungan berada pada tampungan air maksimum. Tekanan yang tinggi justru terkonsentrasi dan dapat mengakibatkan *pipng* dalam waktu yang cepat. Sehingga material yang kedap air dan elastis lebih direkomendasikan agar dapat mengikuti pergerakan bendungan.

Dari kondisi tersebut, perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait metode pelaksanaan dinding halang, material penyusun yang kedap air dan elastis dan pengamatan pasca konstruksi terhadap perilaku bendungan tipe urugan homogen setelah adanya penambahan konstruksi kedap air dan untuk memastikan kondisi dan fungsi dinding halang tersebut terkait *durability* dan pemeliharannya. Keberhasilan pada konstruksi dinding halang banyak dipengaruhi oleh berbagai hal, termasuk kondisi eksisting bendungan. Perencanaan yang matang dan mempertimbangkan berbagai aspek termasuk aspek biaya menjadikan konstruksi dinding halang ini dapat diaplikasikan pada bendungan-bendungan dengan tingkat resiko besar dan kondisi rembesan yang melebihi batas toleransi.

### DAFTAR PUSTAKA

- BBWS Pemali Juana, 2012. *Spesial Study Waduk Penjalin*, Semarang
- BBWS Pemali Juana, 2018. *RMK Pelaksanaan Rehabilitasi Bendungan Penjalin*, Semarang
- U.S Department of the Interior Bureau of Reclamation. *Reclamation Managing*

- Water in the West, design Standart no.13 Embankment Dams, Capter 16: Cutoff Wall*, 2014
- Direktorat Sungai Danau Dan Waduk. *Pedoman Pembuatan Dinding Halang (Cutoff Wall) pada bendungan urugan*, 2005,
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, *Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan*, 2003
- Suyono Sosrodarsono, Kensaku Takeda, DR, 1989, *Bendungan Type Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan rakyat nomor 27/PRT/M/2015 tahun 2015 tentang Bendungan
- Cahaya Santosa Samosir, Widandi Soetopo, Emma Yuliani, 2015. *Optimasi Pola Operasi Waduk Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air (studi kasus waduk Wonogiri)*, Jurnal Teknik Pengairan, Volume 6, nomor 1, Mei 2015, hlm 108-115
- Rahman Hakim Ardiansyah, Sobriyah, Agus Hari Wahyudi, 2014. *Pengaruh Fluktuasi Muka Air Waduk Terhadap Debit Rembesan Menggunakan Model Seep/W (studi kasus di Bendungan Benel, Kabupaten Jembrana, Bali)*, e-jurnal Matrik Teknik Sipil/September 2014
- Ata amini, Albroz Arya, Afshin Egbalzadeh, Mitra Javan, 2017. *Peak Flood Estimation Under Overtopping and Piping Conditions at Vahdat Dam, Kurdistan Iran*, Arabian Journal of Geosciences, April 2017
- O.E. Omofunmi, J.G. Kolo, A.S. Oladipo, P.D. Diabana, and A.S. Ojo, 2017. *Review on Effects and Control of Seepage Through Earth-Fill Dam*, Curren Jurnal of Applied Sciences and Technologi
- Doaa A.El Molla, 2019. *Seepage Through Homogeneous Earth Dam Provided with a Vertical Sheet Pile and Formed on Impervious Foundation*, Ain Shams Engineering Journal 10 (2019) 529-539
- Magdi M.E Zumrawi, 2015. *Failur Investigation of Taiwa Dam in North Darfur, Sudan*, International Journal of Science and Research (IJSR)
- R.P Sharma dan A. Kumar, 2013. *Case Histories of Earthen Dam Failure*, Seventh International Convergence on Case Histories in Geotechnical Engineering

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan