

GAGASAN REVITALISASI BENDUNGAN URUGAN DALAM MENDUKUNG PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR

Carlina Soetjiono

Pusat Litbang Sumber Daya Air
Jl. Ir. H. Juanda 193, Bandung, Indonesia
E-mail: carlina_soetjiono@yahoo.co.id

Diterima: 4 Januari 2010; Disetujui: 27 April 2010

ABSTRAK

Pengelolaan sumber daya air yang baik adalah suatu upaya pengelolaan yang tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (seperti banjir, kekeringan, pencemaran, dan longsor), dan tidak merusak sumber daya alam sendiri. Mengingat pembangunan bendungan urugan merupakan salah satu bagian dari sistem pengelolaan sumber daya air, sebaiknya dituangkan dalam suatu konsep pengembangan wilayah berwawasan lingkungan. Perubahan iklim global secara perlahan berdampak pada perubahan sumber daya air terutama siklus hidrologi, jumlah dan pola presipitasi serta cuaca di dunia termasuk Indonesia. Karena itu, mulai sekarang diperlukan upaya adaptasi terhadap situasi tersebut dengan melibatkan peran aktif seluruh pihak terkait untuk memaksimalkan manfaat kegiatan pengelolaan dan pengembangan sumber daya air. Perubahan fenomena alam ini berdampak positif, juga berdampak negatif. Untuk mengurangi dampak negatif tersebut, diperlukan waduk baik alami maupun buatan (bendungan). Bilamana pembangunan bendungan baru saat ini diperkirakan sulit dilaksanakan karena faktor keterbatasan (pendanaan, lahan dan faktor sosial), maka upaya revitalisasi bendungan yang sudah ada selayaknya diprioritaskan. Salah satu hal penting yang diperlukan dalam revitalisasi adalah melakukan evaluasi keamanan bendungan. Sebab, peran evaluasi keamanan bendungan dapat memberikan andil penting baik dalam pengelolaan sumber daya air umumnya maupun dalam menjaga fungsi dan keamanan bendungan khususnya, untuk meningkatkan pemanfaatan sumber daya air sebesar-besarnya bagi kesejahteraan rakyat.

Kata kunci: *Keamanan bendungan, bendungan urugan, evaluasi, revitalisasi, perubahan iklim global, pengelolaan sumber daya air.*

ABSTRACT

Generally, the strategies on water resources management are enhancing the water conservation, optimizing the water resources utilization and minimizing the water destructive potency or negative impact to the environment, such as floods, droughts, pollutions, and landslide. The dam construction is a part of water resources management systems, so it should be explicit stated in the concept on regional development of sustainable environment. The global climate change slowly influenced on water resources change especially the cyclic climate and hydrology in the world including Indonesia. Therefore, it should be needed a situation adaptation by involving the other sides to obtain the maximum management benefit and the water resources development. To minimize the negative impact of natural phenomenon change, natural reservoirs as well as dams were needed. The new dams constructions were difficult to be built caused by limited budgeting, land use, and social factors, so the existing dams revitalization should be carried out. One of the important factors on dam revitalization is to evaluate the safety. The dam safety evaluation will be very important and request effective government action in water resources management. The action plan must be intended to support the achievement of both national and local development goals.

Keywords: *Dam safety, embankment dam, evaluation, revitalization, global climate change, water resources management.*

PENDAHULUAN

Di Indonesia, sejak tahun 1900 sampai sekarang telah dibangun sekitar dua ratusan bendungan besar dan ratusan bangunan air lainnya; dan lebih dari 90% di antaranya berupa bendungan tipe urugan. Secara umum yang dimaksud bendungan adalah bangunan berupa urugan tanah, urugan batu termasuk komposit, beton, dan atau pasangan batu yang dibuat untuk menahan air, limbah atau bahan cair lainnya sehingga terbentuk waduk (tertuang dalam Undang-Undang RI Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air). Volume air yang dapat ditampung dalam kolam waduk bervariasi sesuai dengan kriteria bendungan (Departemen Pekerjaan Umum, 1989 dan 1997).

Perencanaan suatu bendungan tipe urugan yang menampung air dalam volume yang besar, wajib memperhitungkan faktor-faktor keamanan, kestabilan dan kekuatan lereng, rembesan air, daya dukung, penurunan, gempa, hidraulik, sosial ekonomi, dan lingkungan. Dalam pembangunan bendungan diperlukan beberapa tahapan kegiatan utama, yang harus saling berkaitan dan mendukung desain dan spesifikasi yang ditentukan, agar menghasilkan bangunan yang aman, efektif dan efisien (Departemen Kimpraswil, 2002).

Indonesia mempunyai sumber air hampir dalam semua daerah atau wilayah. Pada saat ini, diperkirakan Indonesia mempunyai kira-kira 4×10^6 juta kubik meter air per tahun. Lebih daripada 80% dari sumber air sekarang digunakan untuk pertanian. Permasalahan ketidakseimbangan persediaan air terutama muncul pada pulau-pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara Timur, di mana kebutuhan air lebih tinggi daripada kemampuan ketersediaan air sementara. Pada umumnya, strategi manajemen sumber daya air termasuk pengelolaan konservasi air, pengaturan penggunaan sumber daya air dan pengurangan potensi atau kecenderungan pengrusakan air (seperti tertuang dalam UU SDA No.7/2004).

Departemen PU menyatakan bahwa tugas dan tanggung jawab tersebut di atas tidak sederhana dan tidak mudah, karena berkaitan erat dengan sektor energi dan air, permasalahan konstruksi, operasi dan pemeliharaan bendungan dan waduk. Meskipun kita mengetahui bahwa bendungan dan waduk dapat mengamankan ketersediaan air secara terpadu dan sementara (spatial and temporal) dan dapat menghasilkan tenaga atau energi air yang bersih dan untuk pembangkit listrik tenaga air, namun keadaan kritis dan tekanan terhadap konstruksi bendungan dan waduk masih tinggi.

Pemanfaatan ketersediaan air, untuk memenuhi kebutuhan air dari berbagai sektor dalam suatu tata ruang, merupakan masalah nasional serta tugas dan tanggung jawab kita bersama baik dalam lingkungan Kementerian PU maupun antar-kementerian. Pembangunan bendungan yang merupakan salah satu bagian dari sistem pengelolaan sumber daya air, sebaiknya dituangkan dalam suatu konsep pengembangan wilayah berwawasan lingkungan.

Perubahan iklim global secara perlahan telah mempengaruhi siklus hidrologi, jumlah dan pola presipitasi (curah hujan) serta cuaca di dunia termasuk Indonesia. Oleh karena itu, mulai sekarang diperlukan upaya adaptasi terhadap situasi tersebut dengan melibatkan peran aktif seluruh pihak terkait untuk memaksimalkan manfaat kegiatan pengelolaan dan pengembangan sumber daya air. Selain perubahan fenomena alam ini mempunyai dampak positif (seperti membantu banyaknya panen hasil tanaman pertanian atau perkebunan), juga ada dampak negatifnya. Untuk mengurangi dampak negatif tersebut (misalnya banjir bandang dan kekeringan), maka diperlukan waduk (*reservoir*) baik alami maupun buatan berupa bendungan.

Mengingat pembangunan bendungan baru sampai saat ini masih sulit dilaksanakan, karena beberapa keterbatasan (pendanaan, lahan dan faktor sosial lainnya), maka upaya revitalisasi bendungan yang sudah ada selayaknya diprioritaskan. Salah satu hal penting yang diperlukan dalam revitalisasi adalah melakukan evaluasi keamanan bendungan secara komprehensif, cermat dan cukup teliti, namun relatif mudah dilakukan oleh tenaga ahli dengan kualifikasi tertentu.

Dengan mengetahui kinerja dan hasil evaluasi tingkat keamanan bendungan, akan dapat ditentukan prioritas perbaikan, operasi dan pemeliharaan bendungan dan bangunan pelengkap, agar bangunan tetap aman dan berfungsi dengan semestinya. Pandangan dan informasi yang diuraikan dalam makalah ini diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat pemakai dan pihak-pihak terkait lainnya dalam pelaksanaan pembangunan dan pengelolaan bendungan.

Pembangunan waduk sebagai salah satu upaya penyelenggaraan konservasi air perlu dijaga, agar kita tidak kekurangan air pada musim kemarau dan tidak kebanjiran pada musim hujan. Saat ini telah banyak terjadi pendangkalan waduk yang cukup serius, sehingga kapasitas waduk semakin berkurang

sebagai akibat kerusakan daerah aliran sungai, DAS (tertuang dalam ayat 8 dan 18 pasal 1 UU RI No.7/2004 tentang SDA). Mengingat hal itu, diperlukan pula pengembangan IPTEK bidang sedimentasi waduk dan kualitas air, agar senantiasa tersedia air dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup (tertuang dalam ayat 1, 2 dan 3 pasal 20 UU RI No.7/2004 tentang SDA).

Pandangan dan informasi ini dimaksudkan agar masyarakat dapat ikut berperan serta dalam upaya tersebut, untuk mendukung beroperasinya waduk dengan baik, agar dapat meningkatkan manfaat sumber daya air untuk kesejahteraan rakyat. Pengkajian kinerja dan evaluasi tingkat keamanan bendungan bertujuan untuk menentukan prioritas perbaikan, operasi dan pemeliharaan bendungan dan bangunan pelengkapannya, agar bangunan tetap aman dan berfungsi dengan baik.

Lingkup pembahasan tulisan ini meliputi penjelasan pentingnya aspek keamanan bendungan, dampak perubahan iklim terhadap pembangunan bendungan, langkah-langkah untuk menghadapi tantangan dan peluang pengembangan pembangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, serta arah dan strategi pengembangan pembangunan bendungan.

PENTINGNYA ASPEK KEAMANAN BENDUNGAN

1 Perencanaan Pembangunan Bendungan

Untuk mencegah munculnya kegagalan atau keruntuhan bangunan bendungan, maka sudah barang tentu faktor keamanan bendungan perlu dievaluasi dengan menggunakan IPTEK yang memadai. Oleh karena itu, telah dilakukan penelitian tentang tingkat kerawanan bendungan (Carlina Soetjiono dan Nugroho, Cl., 1993 op. cit. Carlina Soetjiono, 2009), penyelidikan geoteknik, instrumentasi geoteknik, dan evaluasi tingkat keamanan bendungan urugan di Indonesia (Departemen PU, 2005, 2005a dan 2005b; Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2006b) selama beberapa tahun terakhir dengan menggunakan metode indeks risiko (*Risk Indexing Tool*), yang dikembangkan oleh Andersen G.R. et al. (1999, 2001, 2001a).

Arti aman bagi suatu desain bendungan wajib memenuhi tiga persyaratan utama, yaitu aman terhadap bahaya erosi permukaan, tekanan air (tanpa menimbulkan bocoran atau kerusakan akibat terobosan air) (Departemen Kimpraswil, 2002a), keruntuhan struktural (Departemen PU, 2006). Pada beberapa bendungan di Indonesia

kemungkinan kerusakan yang terjadi biasanya disebabkan oleh tidak terpenuhinya salah satu dari tiga faktor, yaitu hidraulik dan hidrologi (erosi pada permukaan struktur); perembesan air (bocoran atau ketidak-mampuan tubuh atau fondasi bendungan untuk menahan gaya rembesan air); dan struktur (longsoran atau keruntuhan struktur bendungan) (Departemen Kimpraswil, 2004a; Departemen Kimpraswil, 2002b).

Pembebanan dapat menyebabkan penurunan fondasi dan urugan, serta pergerakan lateral urugan bendungan yang telah dipadatkan. Jika penurunan ini merata, biasanya tidak begitu menjadi masalah (bisa dilakukan peninggian lagi), lain halnya jika yang terjadi adalah penurunan diferensial, seperti retakan transversal, rembesan dan longsoran (Carlina Soetjiono dan Sunarto, 1998; Departemen PU, 2006).

Agar keamanan bendungan terjamin, maka diperlukan suatu pengawasan yang ketat dan kontinyu pada waktu pelaksanaan agar semua spesifikasi yang ditentukan dalam desain dan uji mutu konstruksi bisa dipenuhi. Pada saat pelaksanaan konstruksi, perlu dilakukan uji mutu perbaikan fondasi dan *abutment*, uji mutu bahan tanah di *borrow area* dan batu di *quarry area*, serta uji mutu konstruksi atau pemadatan urugan tanah, filter dan batu (Departemen Kimpraswil, 2004).

Dalam hal ini, pemimpin proyek dan jajarannya bertanggung jawab dan perlu untuk melakukan perubahan desain atau spesifikasi teknik yang belum tercakup, serta berkoordinasi dengan pendesain (konsultan supervisi) yang ditunjuk. Tujuannya adalah untuk memberikan arahan kepada kontraktor jika terjadi kondisi yang tak terduga pada waktu pelaksanaan konstruksi.

2 Aspek Keamanan Bendungan

Pada umumnya bendungan bersifat multi fungsi, yaitu untuk tujuan pengendalian banjir dan pemberian suplai air pada jaringan irigasi, air baku, sarana pembangkit tenaga, pertanian, perikanan dan rekreasi. Hal tersebut merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari bagian infrastruktur dengan aspek-aspek sosial, ekonomi dan lingkungan. Bendungan harus didesain aman, stabil dan ekonomis, serta dengan mempertimbangkan aspek-aspek terkait seperti risiko keruntuhan akibat bencana alam gempa, banjir dan longsoran.

Untuk mencegah atau mengurangi seminimum mungkin risiko runtuhnya bendungan, maka perlu diantisipasi dengan desain dan konstruksi, operasi dan pemeliharaan

yang sesuai dengan ketentuan spesifikasi yang berlaku serta memenuhi kriteria evaluasi keamanan bendungan secara komprehensif dan menyeluruh.

Dari pengalaman dan sejarah keruntuhan bendungan, yang cukup menarik adalah studi *Middle Brooks*, 1953 (op. cit. Najooan, 1991) dengan analisis terhadap dua ratus kasus kerusakan bendungan urugan di Amerika Serikat. Di Amerika Serikat (USBR) dan di negara lain di dunia, kurang lebih 38% dari bendungan tipe urugan yang mengalami keruntuhan disebabkan oleh pengaruh rembesan air; sedangkan pengaruh lain adalah karena longsor, struktur dan hidraulik.

Pada saat ini, di Indonesia terdapat lebih dari delapan puluh buah bendungan besar termasuk yang sedang dalam pelaksanaan konstruksi. Sebagian besar (57%) dari jumlah itu lokasinya terletak menyebar di P. Jawa, sedangkan yang lainnya (43%) tersebar di P. Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Bali, Lombok, Sumbawa, dan daerah lainnya (Najooan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2006b; Carlina Soetjiono, 2008 dan 2009).

Akibat proses penuaan banyak bendungan tua yang perlu diperbaiki, baik untuk melestarikan fungsi maupun untuk meningkatkan keamanannya. Dalam pelaksanaan operasi dan pemeliharaan bendungan, harus dipahami benar perilaku struktural bendungan dan bangunan air lainnya, baik dalam keadaan beban normal maupun beban luar biasa seperti banjir besar, gempa dan sebagainya. Aspek penting untuk dapat memahami perilaku struktural bendungan adalah dengan cara mempelajari kerusakan dan keruntuhan bendungan, serta potensi menurunnya tingkat keamanan bendungan (Carlina Soetjiono dan Sunarto, 2000; Najooan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2007).

Sebagai catatan telah terjadi kasus keruntuhan *cofferdam* Bendungan Sempor di Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah pada tanggal 27 Nov 1967; bocornya dinding kiri Waduk Wlingi di S. Brantas, Jawa Timur akhir Sept. 1978; dan getaran tanah di sekitar Waduk Saguling, Jawa Barat pada tahun 1985 segera setelah waduk hampir penuh pada pengisian air pertamanya (gempa bumi imbas waduk) (Ibnu Kasiro, 1998). Gempa bumi di sekitar bendungan ini umumnya berpengaruh negatif terhadap bendungan, bukit tumpuan, waduk, dan bangunan pelengkap. Kasus lainnya adalah kejadian keruntuhan pelimpah pada Bendungan Lodan Wetan di Kabupaten Rembang, Jawa Tengah; bocoran pada bagian bawah menara di sekitar *intake* untuk masuk ke saluran irigasi

pada Bendungan Cacaban di Kabupaten Tegal, Jawa Tengah pada tahun 1991, yang kemudian dilaksanakan *grouting* pada tahun 2003. Kasus terbaru jebolnya tanggul Situ Gintung di Banten Jawa Barat pada tanggal 27 Maret 2009. Meskipun situ ini kecil dengan kapasitas tampung waduk 600.000 m³ dan tinggi maksimum sepuluh meter, namun ternyata menimbulkan korban jiwa dan harta yang tidak sedikit. Oleh karena itu, bangunan-bangunan semacam ini perlu dievaluasi kinerja dan keamanannya, agar kejadian ini tidak terulang lagi.

Beberapa kelemahan desain bendungan tua terhadap rembesan atau bocoran telah diuraikan oleh Ibnu Kasiro, 1991 (op. cit. Ibnu Kasiro, 1998) antara lain:

- 1) Tubuh bendungan pada umumnya homogen tanpa adanya *chimney drains*;
- 2) Urugan bendungan tidak homogen betul sehingga rembesan menjadi *anisotropic*;
- 3) Perbaikan (*treatment*) fondasi berlangsung secara sederhana, hanya terlihat di permukaan;
- 4) Penggunaan konduit yang dipasang di bawah urugan bendungan sehingga sukar diperiksa kondisinya;
- 5) Penggunaan ijuk sebagai filter yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

Kontribusi IPTEK dalam evaluasi keamanan bendungan urugan dilakukan dengan kombinasi antara inspeksi keamanan bendungan, evaluasi data hasil pemantauan instrumentasi geoteknik, pembobotan tingkat keamanan bendungan dengan metode indeks risiko, dan analisis stabilitas bendungan akibat pengaruh gempa. Tujuannya adalah untuk penentuan penilaian tingkat keamanan bendungan, dengan sasaran untuk memberikan masukan kepada pemerintah pusat, provinsi, kabupaten dan kota, serta instansi atau pihak-pihak terkait dalam penentuan skala prioritas untuk pelaksanaan operasi dan pemeliharaan, perbaikan dan rehabilitasi bendungan.

3 Desain dan Konstruksi Bendungan

Dalam pelaksanaan desain dan konstruksi suatu bendungan urugan harus dipertimbangkan sistem desain instrumentasi geoteknik yang didukung oleh penyelidikan geoteknik dan pengukuran geometri yang akurat di lapangan. Peran instrumentasi geoteknik ini difokuskan pada tiga unsur pemanfaatan, yaitu: desain dan konstruksi, pemantauan dan pengawasan, serta analisis dan evaluasi keamanan bendungan tipe urugan (Carlina Soetjiono dan Najooan, T.F., 1993 op.cit. Departemen PU, 2005, 2005a, 2005b). Dalam membuat desain sistem instrumentasi geoteknik, dan melakukan evaluasi hasil

pemantauan instrumentasi sangat dibutuhkan pengetahuan dasar geoteknik (Carlina Soetjiono, 2006). Oleh sebab itu, kunci keberhasilan dalam melakukan evaluasi perilaku bendungan urugan dan tanggul terletak pada kecermatan tenaga ahli geoteknik terhadap hasil pemantauan instrumen untuk mendukung keamanan bendungan (Departemen Kimpraswil, 2004).

Sampai saat ini, sudah ada unit *monitoring* keamanan bendungan (UMB) yang bertugas melaporkan kondisi bendungan kepada Balai Bendungan dalam lingkup pengelolaan bendungan. Unit ini melakukan inspeksi lapangan secara periodik, serta memantau instrumentasi untuk memperoleh data instrumentasi yang handal dan akurat, yang nantinya digunakan dalam analisis dan evaluasi keamanan bendungan urugan.

4 Inspeksi Keamanan Bendungan di Lapangan

Bagian bendungan yang sangat penting untuk dipantau dalam rangka inspeksi keamanan bendungan di lapangan (Bartholomew et al., 1987, op.cit. Brotodihardjo, Agus P.P., 2005) adalah:

- 1) Puncak (*crest*) dan bahu urugan bendungan.
- 2) Lereng hilir urugan bendungan (misal apakah ada tanaman yang jauh lebih subur daripada tanaman lain yang tumbuh di sekitarnya? Hal ini bisa menunjukkan adanya gejala rembesan).
- 3) Sebelah hilir (*downstream*) dari kaki lereng hilir urugan bendungan.
- 4) Bukit tumpuan (*abutment*) kiri dan kanan bendungan dan sekitarnya.
- 5) Menara dan terowongan pengeluaran air (untuk irigasi, PLTA, air minum dan lain-lain) termasuk pemeriksaan macet atau tidaknya pintu air mekanik, dan juga pintu-pintu air yang berperalatan listrik dan kabel-kabelnya, bila ada.
- 6) Pelimpah (*spillway*) termasuk pintu air pelimpah, mencakup: adakah material longsoran atau hasil erosi, kayu, benda lain, yang dapat menyumbat pelimpahan air lewat pelimpah, terutama pada saat terjadinya banjir di hulu.
- 7) Bangunan pelimpah darurat (*emergency spillway*), bila ada.

Di samping itu, beberapa lokasi lain di sekitar bendungan dan waduk yang perlu dipantau atau diinspeksi adalah:

- 1) Dinding kiri-kanan kolam waduk terutama kestabilan lereng dindingnya.
- 2) Permukaan air waduk di lokasi tertentu jika diperkirakan kondisi topografi, geologi

teknik dan geotekniknya rawan terhadap gejala bocoran air waduk.

- 3) Jalur "sabuk hijau" (*green belt*) sebagai "paru-paru" alam di sekitar bendungan.
- 4) Lokasi lain di hilir bendungan dari kemungkinan munculnya mata air baru berdasarkan laporan dari petugas bendungan atau penduduk setempat.

Berdasarkan *Standard Operation Procedure (SOP)* dari *Safety Evaluation of Existing Dams (SEED)*, Tata Cara Keamanan Bendungan (SNI 03-1731-1989) dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.72/PRT/1997 tentang *Keamanan Bendungan*, maka inspeksi besar keamanan bendungan harus dilakukan dengan selang waktu kurang dari lima tahun. Untuk pemeriksaan berkala, inspeksi lapangan sedikitnya dilakukan sekali setahun terhadap keamanan bendungan dan bangunan pelengkapannya. Untuk pemeriksaan luar biasa, inspeksi dilakukan segera setelah terjadi keadaan luar biasa, misal banjir besar, gempa (yang merusak) dan sabotase (Brotodihardjo, Agus P.P., 2005).

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PEMBANGUNAN BENDUNGAN

1 Dampak Perubahan Iklim Global

Berbagai bencana yang berkaitan dengan pengaruh iklim, termasuk banjir, kekeringan, angin puting beliung, badai atau gelombang dan longsoran telah banyak terjadi di Indonesia. Kejadian El-Nino, menyebabkan terjadinya kekeringan, sementara kejadian La Nina, menyebabkan munculnya fenomena banjir. Pembangunan waduk sebagai salah satu upaya penyelenggaraan konservasi air perlu dijaga, agar kita tidak kekurangan air pada musim kemarau dan tidak kebanjiran pada musim hujan. Saat ini telah banyak terjadi pendangkalan waduk yang cukup serius, sehingga kapasitas waduk semakin berkurang sebagai akibat kerusakan daerah aliran sungai, DAS (tertuang dalam ayat 8 dan 18 pasal 1 UU RI No.7/2004 tentang SDA).

Selain itu, diperlukan pula pengembangan IPTEK bidang sedimentasi waduk dan kualitas air sebagai faktor internal untuk keamanan bendungan (baik dari segi keasaman air dan zat kimia lainnya yang dapat merusak struktur baja dan atau beton, dan mekanisme kerja peralatan, serta tidak merusak keseimbangan lingkungan), agar senantiasa tersedia air dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup (seperti tertuang dalam ayat 1, 2 dan 3 pasal 20 UU RI No.7/2004 tentang SDA).

Demikian pula diperlukan pengembangan sistem telemetri, agar kondisi keamanan bendungan dapat dipantau secara cepat tanpa harus datang langsung ke lokasi bendungan (dengan membuat *early warning system*, terutama pada daerah yang rawan banjir atau rawan kekeringan, dan rawan gempa).

Untuk itu, diperlukan pengaturan dan pengawasan yang tegas dari pihak-pihak penentu kebijakan antarkementerian dalam mengatur kondisi tata guna lahan, garis sempadan daerah aliran sungai, batas wilayah, daerah hunian yang diizinkan atau tidak diizinkan, larangan penggundulan daerah hutan yang rawan, dan seterusnya.

Beberapa peraturan pendukung untuk pembangunan dan pengelolaan bendungan, termasuk di dalamnya peran instrumentasi geoteknik dan keamanan bendungan, dapat disimak pada pasal 63 UU RI No.7/2004 tentang SDA. Dalam hal ini, perencanaan, pelaksanaan konstruksi dan pengelolaan bendungan harus dilaksanakan tahap demi tahap sesuai kaidah-kaidah keamanan bendungan, seperti tertuang dalam berbagai peraturan atau norma, standar, pedoman dan manual yang lazim disingkat NSPM (ayat 2, pasal 63 UU RI No.7/2004 tentang SDA).

2 Tingkat Aplikasi Pengkajian dan Evaluasi Keamanan Bendungan

Berdasarkan hasil penelitian evaluasi keamanan bendungan-bendungan besar di Pulau Jawa dan daerah lainnya di Indonesia beberapa tahun terakhir ini (Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2006; Carlina Soetjiono, 2008 dan 2009), dapat direkomendasikan tentang tingkat keamanan bendungan-bendungan besar di Indonesia sampai saat ini, sebagai bahan pertimbangan penilaian keamanan bendungan dan perbaikannya selanjutnya, bila dipandang perlu. Berhubung bendungan yang diteliti baru diambil secara random dan belum menyeluruh, maka perkiraan kondisi bendungan yang termasuk klasifikasi memuaskan sekitar 65%, dan yang termasuk klasifikasi cukup sekitar 35%. Bagi sebagian kecil bendungan yang klasifikasinya kurang memuaskan diharapkan agar dilakukan inspeksi lapangan secara periodik dan bila perlu ditunjang dengan penyelidikan geoteknik lebih lanjut, agar hal-hal yang diperkirakan akan mengganggu kestabilan dan keamanan bendungan dapat diketahui secara dini.

Sebenarnya ditinjau dari tingkat aplikasi instrumentasi geoteknik saat ini, banyak proyek bendungan besar yang telah melaksanakannya dengan baik, walaupun belum semua hal dikerjakan. Perlu diingat bahwa peranan operasi

dan pemeliharaan instrumentasi ini sangat penting karena diharapkan dapat memberikan data hasil pemantauan instrumen yang baik, akurat dan handal, untuk digunakan dalam analisis dan evaluasi keamanan bendungan.

Berdasarkan pengalaman pendesain, kontraktor dan *engineer* yang bertanggung jawab terhadap keamanan bendungan dapat dijelaskan bahwa: 1) fungsi bendungan dapat berubah sejalan dengan waktu; 2) kemerosotan atau kerusakan bendungan dapat berlangsung sejalan dengan waktu; 3) masalah dapat terjadi setiap waktu selama masa guna bendungan. Sampai saat ini, belum semua pengelola bendungan melakukan pemeriksaan bacaan dan evaluasi data dari hasil pemantauan instrumentasi geoteknik ini dengan cukup memadai. Di samping itu, operasi dan pemeliharaan peralatan masih kurang berjalan dengan semestinya, padahal sangat bermanfaat. Dari data tersebut dapat digambarkan: apakah ada kecenderungan bahaya erosi buluh, gejala rembesan, deformasi, penurunan maupun degradasi dan lain-lain.

3 Pemeliharaan dan Revitalisasi Bendungan dan Waduk

Mengingat adanya kerawanan beberapa kondisi bendungan yang ada di beberapa lokasi, di samping kinerja bendungan yang diduga kurang mendukung fungsi bendungan, maka diperlukan upaya pemeliharaan dan revitalisasi bendungan dan waduk yang sudah ada (*existing dams and reservoirs*) sebagai pilihan yang baik untuk dilakukan pada saat ini dan pada masa mendatang.

Untuk memenuhi persyaratan keamanan bendungan tersebut di atas, sudah cukup banyak standar dan pedoman serta teknologi pendukung untuk menunjang pembangunan dan pengelolaan bendungan, selain sumber daya manusia (SDM) dan tenaga ahli yang telah mempunyai sertifikasi dalam bidang tersebut. Namun, ke depan masih diperlukan pengembangan kompetensi SDM, sesuai dengan tuntutan persyaratan kriteria tenaga ahli dan perkembangan teknologi konstruksi yang menekuni bidang bangunan air, khususnya bendungan.

Menurut pandangan penulis saat ini metode indeks risiko total cukup praktis untuk diterapkan di Indonesia dalam mengkaji keamanan bendungan pasca rehabilitasi. Hal ini tentu saja harus didukung oleh kegiatan inspeksi lapangan secara periodik, evaluasi data hasil pemantauan instrumentasi, serta analisis dan evaluasi keamanan bendungan dengan metode indeks risiko (Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2007). Walaupun demikian tidak menutup kemungkinan pada masa mendatang muncul

metode lain, yang lebih canggih untuk digunakan dalam evaluasi tingkat keamanan bendungan.

4 Prospek Aplikasi Instrumentasi Geoteknik

Pemasangan instrumentasi baru bisa dinyatakan berhasil, jika dapat memberikan data keadaan tekanan air pori, deformasi, tegangan total tanah, temperatur, kejadian gempa, bocoran atau rembesan dan tinggi muka air, baik secara kuantitatif maupun kualitatif (Carlina Soetjiono dan Najoran, T. F. 1993; Carlina Soetjiono, 2006). Selanjutnya, identifikasi parameter fondasi dan tubuh bendungan diperlukan agar dapat memberikan pendekatan pengembangan sistem instrumentasi yang memadai, dan membantu evaluasi keamanan bendungan urugan sebagai bagian integral dari desain geoteknik (Najoran, T. F. dan Carlina Soetjiono, 2006).

Instrumentasi geoteknik adalah instrumen yang digunakan sebagai instrumen pemantau keamanan bendungan dan bangunan air lainnya, yang terdiri dari pemantau tekanan (tekanan air dan tekanan tanah), pemantau rembesan air, pemantau deformasi internal (pada tubuh dan fondasi bendungan), pemantau deformasi eksternal, dan pemantau gempa, yang dapat dilakukan secara manual maupun otomatis tergantung penggunaan sistem peralatan dan jenis peralatan.

Sistem instrumentasi yang tepat harus dapat menjawab pertanyaan: apakah kestabilan lereng masih cukup, apakah koefisien permeabilitas tidak meningkat, apakah deformasi berpengaruh atau tidak pada tinggi jagaan. Hasil interpretasi geoteknik akan digunakan oleh perancang sebagai dasar untuk menentukan letak fondasi bendungan dan program penggalian pada tahap konstruksi. Perancang tidak selalu dapat mendeteksi sifat-sifat dan kondisi endapan alami, sehingga harus melakukan asumsi dan generalisasi dalam menyusun interpretasi kondisi geoteknik (Departemen PU, 2005, 2005a dan 2005b), walaupun kemungkinan asumsi kondisi geoteknik tersebut sedikit berbeda dengan kondisi lapangan sebenarnya.

Hasil analisis basis data tersebut (seperti kontur tekanan air pori, garis freatik dan grafik histeresis) dapat menunjukkan apakah ada perubahan tekanan air pori, apakah tidak ada bahaya erosi buluh (*piping*) atau perubahan koefisien kelulusan air (permeabilitas), dan perubahan pola rembesan atau bocoran air. Hasil analisis itu dapat menggambarkan keadaan fisik di lapangan (apakah terjadi kerusakan bagian bendungan dan bangunan pelengkap), lalu dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada waktu inspeksi lapangan. Dari kombinasi hasil

inspeksi lapangan, dan evaluasi hasil pemantauan instrumen, kemudian dilakukan analisis dan evaluasi keamanan bendungan dengan metode indeks risiko, dan analisis stabilitas lereng.

5 Prospek Tuntutan Ramah Lingkungan, Efisiensi Energi dan *Green Belt*

Kelompok instrumen pengukuran suplemen khusus dan metodenya, meliputi tiga jenis alat yaitu: alat uji kualitas air; alat otomatisasi (alat ukur tekanan, alat ukur bocoran, alat ukur elevasi muka air waduk); dan peralatan indera (penginderaan jauh). Otomatisasi instrumentasi dapat membantu dalam pengumpulan data secara cepat, dan berulang-ulang. Pada tahun-tahun terakhir ini, teknologi peralatan untuk mengukur rembesan, tegangan, dan deformasi pada bendungan dan tanggul telah berkembang secara cepat dengan faktor ketelitian tinggi, dan dapat lebih dipercaya.

Walaupun biaya pemasangan awal pada Sistem Data Akuisisi Otomatik lebih mahal daripada sistem instrumentasi konvensional, namun biaya keseluruhan untuk jangka panjang dapat bersaing secara ekonomis, menghasilkan efisiensi energi dan bersifat ramah lingkungan. Pemantauan bendungan dapat dilakukan secara otomatis tergantung pada jenis instrumen yang digunakan, dan tingkat kelayakannya. Otomatisasi merupakan penggabungan dari teknologi elektronik, komputer, dan komunikasi yang diterapkan pada geoteknik, dan struktur bangunan untuk pengelolaan sumber daya air.

Sesuai dengan perkembangan IPTEK, sebaiknya dilakukan pemasangan sistem telemetri, agar kondisi keamanan bendungan dapat dipantau secara cepat tanpa harus datang langsung ke lokasi bendungan. Misalnya dengan membuat *early warning system* pada daerah yang rawan banjir; instrumentasi geoteknik dengan sistem data akuisisi otomatis, dan peralatan pemantau gempa digital jarak-jauh untuk daerah rawan gempa, seperti komponen diagram aselerograf analog. Energi untuk tanda gawar banjir dan alat telekomunikasi sebaiknya tidak diambil dari sumber energi (tiang dan kabel) yang mudah rusak bila terlanda banjir, agar alat tanda bahaya masih tetap dapat berfungsi untuk menyebarluaskan tanda bahaya tersebut pada saat yang tepat.

Dengan adanya perkembangan teknologi evaluasi keamanan bendungan, maka dapat diketahui fungsi bendungan yang kemungkinan terganggu, karena disebabkan oleh pencemaran air (misalnya korosivitas karena keasaman). Karena itu, diperlukan pengembangan pertimbangan aspek kualitas air sebagai faktor internal untuk keamanan bendungan, agar

operasional waduk dapat berjalan lancar dan berfungsi dengan baik. Terutama untuk mendukung operasional peralatan (turbin) agar tidak terganggu oleh keasaman air dan zat kimia lainnya yang dapat merusak struktur baja dan atau beton dan mekanisme kerja alat tersebut (Carlina Soetjiono dan Sunarto, 2002), serta memenuhi syarat kelayakan teknis, ekonomis serta tanpa merusak keseimbangan lingkungan hidup (seperti tertuang dalam ayat 2 dan 4 pasal 34 UU RI No.7/2004 tentang SDA).

Untuk bendungan besar multiguna dan amat penting yang dibangun di daerah berkecepatan tinggi, disarankan agar pada desain bendungan dilengkapi dengan analisis dinamik bendungan (Departemen Pekerjaan Umum, 2008), yang harus memperhitungkan faktor respons dinamik dan parameter dinamik dengan melakukan penyelidikan geoteknik yang khusus dan lebih mendalam (Departemen PU, 2005, 2005a dan 2005b).

TANTANGAN DAN PELUANG PENGEMBANGAN TERKAIT DENGAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN DAN RAMAH LINGKUNGAN

1 Kendala dan Tantangan

Peningkatan kebutuhan akan bendungan baik di Kementerian Pekerjaan Umum maupun kementerian lainnya seperti Kementerian ESDM/PLN sudah dirasakan, dan merupakan tantangan bagi semua pihak terkait dengan bendungan. Hal ini disebabkan karena semakin disadarinya peran positif suatu bendungan, baik sebagai konservasi air, pengendali banjir, penyedia air untuk irigasi, air minum dan air baku, pertanian, perikanan, rekreasi dan sarana pembangkit tenaga listrik yang masih sangat sedikit (baru sekitar 5% dari potensi listrik tenaga air). Hal ini sudah barang tentu merupakan bagian dari tujuan dan sasaran yang diharapkan berhasil dengan baik dari pembangunan dan pengelolaan sumber daya air.

Untuk menghadapi tantangan ini, diperlukan langkah-langkah berikut:

- 1) Memelihara dan melakukan revitalisasi bendungan dan waduk yang sudah ada (*existing dams and reservoirs*).
- 2) Mengembangkan keamanan dan operasi bendungan, dengan mempertimbangkan isu-isu lingkungan dan perubahan iklim global.
- 3) Meningkatkan standar desain dan kualitas analisis untuk bendungan baru.

Langkah-langkah tersebut di atas bertujuan untuk meningkatkan keamanan, mengoptimasi potensi dan mengurangi pembiayaan untuk kehidupan manusia, makhluk

hidup pada umumnya dan lingkungan. Untuk itu, diperlukan data hidrologi bermutu tinggi dan rangkaian data yang panjang serta berperan penting dalam persyaratan keamanan dan operasi bendungan, sementara peran serta masyarakat sangat diperlukan dalam konservasi lingkungan, untuk memenuhi umur layan bendungan dan waduk. Dalam hal ini, diperlukan pengaturan dan pengelolaan dari potensi pemangku kepentingan dalam manajemen SDA.

2 Potensi dan Peluang

Dengan adanya krisis global saat ini merupakan momentum penting dan peluang bagi semua pihak terkait dengan profesi keahlian tentang bendungan untuk menunjukkan peran sertanya bagi pembangunan bendungan di negara kita. Karena masih adanya ratusan lokasi bendungan yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangunan mikrohidro (<1 MW), minihidro (antara 1 MW s/d 19 MW) maupun PLTA (> 10 MW). Untuk itu, semua pihak yang terkait dengan bendungan dan keamanan bendungan berkewajiban bersama menjaga momentum tersebut dengan baik dan terlibat penuh untuk menjaga kualitas dan standar perencanaan maupun konstruksi suatu bendungan. Untuk itu pula perlu diciptakan sumber daya manusia (SDM) yang mempunyai standar kompetensi yang tinggi dan berwawasan luas (Bambang Kuswidodo, 2008).

ARAH DAN STRATEGI PENGEMBANGAN PEMBANGUNAN BENDUNGAN

1 Arah Pengembangan

Visi perencanaan dan pembangunan bendungan pada saat ini dan pada masa yang akan datang adalah memahami filosofi desain bendungan, konsepsi dan kaidah-kaidah keamanan bendungan (NSPM), belajar dari pengalaman kegagalan bendungan dan memahami berbagai titik lemah pada bendungan, sehingga mampu mengambil manfaat untuk penyiapan desainnya dan mengambil upaya-upaya untuk mencegah terjadinya kegagalan bendungan pada masa mendatang. Permasalahan sistem pemantauan jangka panjang yang perlu ditangani, pada umumnya berhubungan dengan potensi pengembangan sesuai dengan waktu dan respons kondisi waduk utama (perubahan kondisi, pengaruh umur dan jadwal pembacaan).

Proses perencanaan dan pelaksanaan program pemantauan untuk bangunan yang ada harus dimulai dengan langkah yang tepat, bergantung pada kebijaksanaan perencana atau tenaga ahli instrumentasi atau tenaga ahli geoteknik senior. Apakah berkaitan dengan

retrofit, rehabilitasi, modifikasi (*upgrading*) dan penggantian (*replacement*) pada instrumentasi.

Dalam hal ini arah dan strategi pengembangan peran instrumentasi geoteknik, sudah jelas berkaitan erat dengan evaluasi keamanan bendungan. Sudah menjadi kenyataan bahwa tanpa analisis dan evaluasi data hasil pemantauan instrumentasi geoteknik yang benar, akurat dan handal, tidak dapat diharapkan untuk melakukan evaluasi keamanan bendungan dengan baik dan benar.

Untuk pengaturan pengembangan diperlukan “payung hukum” mengenai pembangunan dan pengelolaan bendungan di Indonesia, yang dapat memenuhi kepentingan dan keinginan semua *stakeholder* bendungan, dan merupakan suatu pemikiran dari semua pihak terkait. Seperti tertuang dalam Peraturan Menteri PU No.72/1997 tentang Keamanan Bendungan, yang beserta peraturan perubahannya masih diberlakukan sampai saat ini. Oleh karena itu, diperlukan suatu rumusan tahapan pembangunan dan pengelolaan bendungan beserta prosedur pengambilan keputusan pembangunan dan pengelolaan bendungan di Indonesia (Peraturan Pemerintah RI Nomor 37 Tahun 2010 tentang *Bendungan*).

2 Strategi Pengembangan

Konsep awal peraturan tentang waduk dan bendungan telah disiapkan mulai April 2004 sampai dengan pertengahan 2008; yang kemudian menjadi Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Bendungan. Oleh karena itu, strategi yang prospektif digunakan untuk mengembangkan pengaturan itu terutama berbasis pada substansi Tahapan Pembangunan dan Pengelolaan Bendungan, yang terdiri dari enam tahap :

- 1) Perencanaan Pembangunan;
- 2) Pelaksanaan Konstruksi;
- 3) Pengisian Awal Waduk;
- 4) Operasi dan Pemeliharaan;
- 5) Perubahan dan atau Rehabilitasi Bendungan; dan
- 6) Penghapusan Fungsi Bendungan.

Pengaturan tersebut diberlakukan untuk bendungan dengan kriteria sebagai berikut:

- 1) Bendungan dengan tinggi 15 meter atau lebih yang diukur dari dasar fondasi terdalam dan dengan daya tampung waduk minimal 100.000 m³.
- 2) Bendungan dengan tinggi sepuluh meter sampai dengan 15 meter diukur dari dasar fondasi terdalam dan panjang puncak bendungan tidak kurang dari 500 meter atau daya tampung waduk sekurang-kurangnya 500.000 meter kubik atau debit

banjir maksimal yang diperhitungkan tidak kurang dari 1000 m³/detik; atau

- 3) Bendungan lainnya yang mempunyai kesulitan khusus pada fondasi, atau bendungan yang didesain menggunakan teknologi baru.

Kriteria tersebut (tertuang dalam PPRI No. 37/2010 tentang bendungan) sesuai dengan kriteria bendungan besar berdasarkan standar KNI-BB (Komite Nasional Indonesia untuk Bendungan Besar).

Seperti diketahui, pembangunan dan pengelolaan bendungan ditujukan untuk pengelolaan sumber daya air, dan penampungan limbah atau bahan cair lainnya. Suatu tahap prakarsa biasanya diawali dengan adanya isu kebutuhan air dan sumber daya air, kelestarian lingkungan hidup, daya rusak air, dan penampungan limbah atau bahan cair lainnya. Kondisi sumber daya air, daya dukung lingkungan hidup, dan rencana tata ruang harus pula dipertimbangkan dalam penentuan alternatif strategi pengelolaan sumber daya air dengan solusi bendungan, melalui penetapan rencana pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai. Dengan pertimbangan yang sama dapat pula ditetapkan solusi penampungan limbah atau bahan cair lain dengan membuat bendungan.

Implikasi kebijakan lembaga terkait dengan prosedur pembangunan dan pengelolaan bendungan dan sebagian keterlibatannya antara lain adalah pemerintah, pemerintah provinsi, kabupaten dan kota; menteri yang membidangi sumber daya air; menteri terkait bidang SDA; pejabat instansi daerah; pengelola sumber daya air pada wilayah sungai (Balai Besar Wilayah Sungai, Balai Wilayah Sungai); unit pelaksana teknis; instansi teknis terkait keamanan bendungan (Komisi Keamanan Bendungan), dan unit pelaksana teknisnya; pemilik bendungan dan masyarakat yang terkena dampak dan yang mendapat manfaat.

Dalam kaitan pembangunan dan pengelolaan bendungan ini, pemerintah telah berupaya menyikapinya dengan berbagai langkah dengan mengeluarkan peraturan perundang-undangan terkait. Selanjutnya, yang terpenting adalah pengembangan kelembagaan dalam mengintegrasikan potensi dan menangani kepentingan *stakeholders* yang berbeda, yang dapat dilaksanakan secara baik dan konsisten, dan infrastruktur penunjang yang diperlukan dapat dibangun. Perbaikan lingkungan dan penanganan pengaruh perubahan iklim adalah prioritas utama untuk Indonesia, yang harus dikelola secara bijaksana.

Semua departemen atau kementerian pemerintah dan badan perencanaan nasional harus berperan serta dalam pertimbangan penanganan lingkungan dan perubahan iklim ke dalam semua program yang disusun dalam isu pengurangan dampak negatif, pertanggung jawaban komunitas atau masyarakat, keamanan banjir, manajemen bencana atau kerusakan dan perencanaan urban (kependudukan). Kita harus memahami bahwa hal ini bukan hanya merupakan tugas pemerintah pusat, tetapi juga merupakan tanggung jawab bersama secara nasional, termasuk pemerintah daerah dan masyarakat.

Pada umumnya, strategi manajemen sumber daya air termasuk pengelolaan konservasi air, pengaturan penggunaan sumber daya air dan mengurangi potensi atau kecenderungan pengrusakan air (seperti diamanatkan dalam UU RI No.7/2004 tentang SDA). Strategi tersebut bertujuan untuk menentukan ketersediaan air sehubungan dengan perkiraan untuk memenuhi kebutuhan air secara menyeluruh atau spasial dan temporer, serta untuk kebutuhan air insidental yang lebih rendah terkait dengan bencana.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Konservasi lingkungan dan penanggulangan perubahan iklim akan memerlukan langkah atau kegiatan pemerintah secara efektif, di mana pada tingkat pemerintah daerah akan memerlukan koordinasi yang benar-benar kuat antara berbagai sektor. Tugas ini memerlukan kegiatan-kegiatan yang terkoordinasi dari berbagai kegiatan di bagian hulu sampai ke hilir, baik di dalam maupun di luar tugas kementerian dengan kerja sama yang baik. Termasuk memberikan pengarahan agar para pemegang keputusan di provinsi, kabupaten dan kota mengatur dengan jelas daerah sempadan sungai dan batas wilayah sungai, dan rambu-rambu daerah bukan hunian pada bantaran-bantaran sungai dan daerah yang harus dilindungi, sehingga tidak terjadi penggundulan hutan, pohon, dan tanaman yang tidak pada tempatnya dan dapat membebani kapasitas tampungan sungai maupun waduk dan bisa mengakibatkan runtuhnya bendungan.
- 2) Langkah-langkah tersebut meliputi memelihara dan melakukan revitalisasi bendungan dan waduk yang sudah ada (*existing dams and reservoirs*);

mengembangkan keamanan dan operasi bendungan, dengan mempertimbangkan isu-isu lingkungan dan perubahan iklim global; meningkatkan standar desain dan kualitas analisis untuk desain bendungan baru; melakukan evaluasi keamanan bendungan untuk mengetahui kinerja & tingkat keamanannya, dan memberikan masukan kepada pemerintah pusat, provinsi & kabupaten dan kota, dan instansi atau pihak-pihak terkait dalam melakukan skala prioritas untuk pelaksanaan operasi & pemeliharaan, perbaikan atau rehabilitasi bendungan.

- 3) Dengan adanya peningkatan kebutuhan akan bendungan sebagai salah satu upaya nyata dalam menjaga keseimbangan air atau konservasi air dan berbagai kebutuhan air serta menjaga keamanan bendungan dan waduk, akan menjadi momentum penting dan peluang untuk prospek pengembangan IPTEK dalam mendukung keamanan bendungan urugan.
- 4) Untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan energi di Indonesia dan untuk mengurangi penggunaan energi fosil yang sangat mendesak, diperlukan pasokan energi yang ramah lingkungan dan terbarukan. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan sumber energi primer terutama tenaga hidro yang sangat berpotensi dan tersebar di seluruh wilayah Indonesia, yaitu pengembangan waduk dengan bendungan besar untuk pembangkit tenaga listrik.
- 5) Pengembangan sistem telemetri, sistem data akuisisi otomatis, dan penginderaan jauh, agar kondisi keamanan bendungan dapat dipantau secara cepat tanpa harus datang langsung ke lokasi bendungan (dengan membuat sistem peringatan dini atau *early warning system*), terutama pada daerah yang rawan banjir atau rawan kekeringan, dan rawan gempa.
- 6) Pengembangan pertimbangan aspek kualitas air dan penggunaan biopelumas alat sebagai faktor internal-eksternal untuk keamanan bendungan, agar operasi waduk dapat berjalan lancar dan berfungsi dengan baik. Terutama untuk mendukung operasi peralatan (turbin) agar tidak terganggu oleh keasaman air, dan zat kimia lainnya yang dapat merusak struktur baja dan atau beton dan mekanisme kerja alat tersebut, serta tanpa merusak keseimbangan lingkungan hidup (seperti tertuang dalam pasal 23 UU RI No.7 /2004 tentang SDA).

Gagasan tersebut diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan penilaian kinerja

dan keamanan bendungan dengan semua faktor yang berkaitan, yang perlu dilakukan dan diprioritaskan, agar kemungkinan kejadian runtuhnya bendungan dapat dihindari atau diantisipasi lebih awal. Hal ini bisa menjadi bahan masukan untuk menunjang program pemerintah dalam pengembangan potensi sumber daya air dan pengendalian daya rusak sumber daya air itu sendiri, serta menjaga konservasi air, seperti tertuang dalam ayat 8 pasal 1 UU RI No.7/2004 tentang SDA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Saudara Ir. Theo F. Najooan, M.Eng. atas kerja sama, saran dan masukan data untuk pengkajian ini, beserta rekan-rekan yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

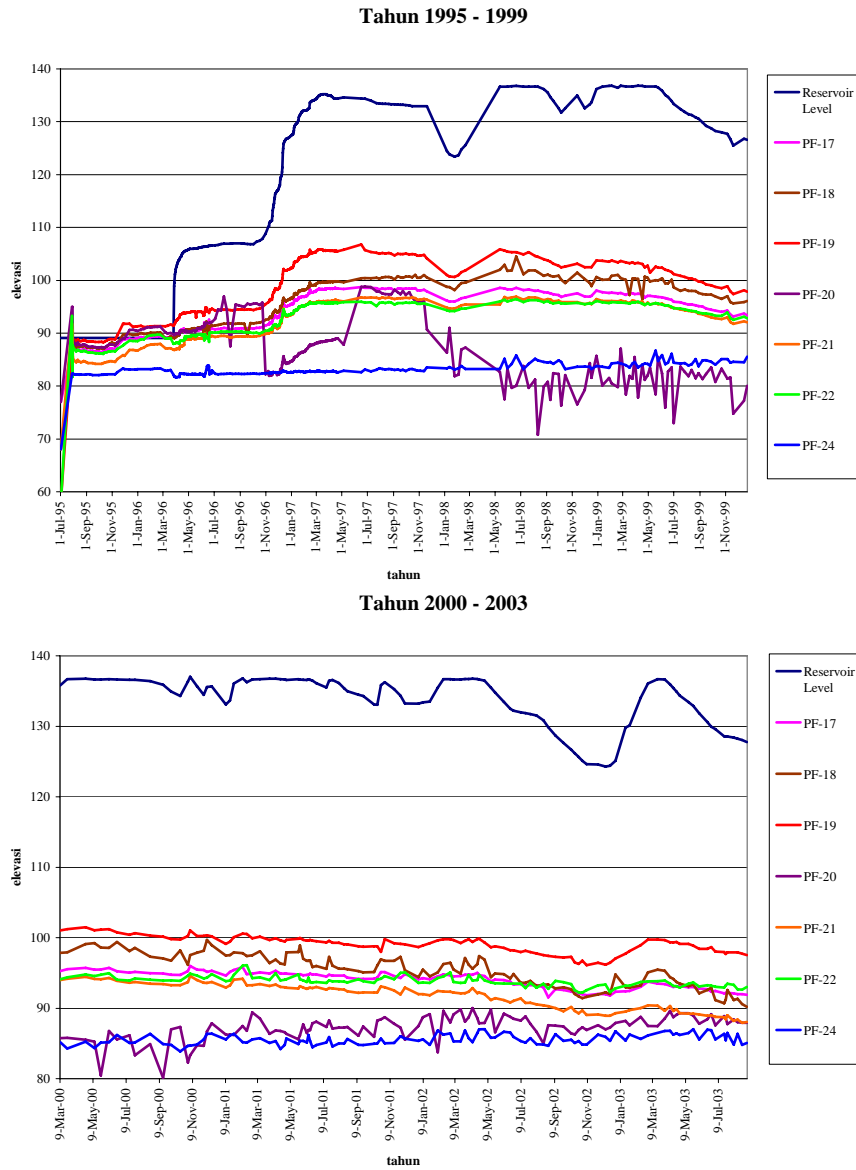
DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, G.R., Chouinard, L.E., Bouvier, C.J. and Back, W.E., 1999. *Ranking Procedure on Maintenance Tasks for Monitoring of Embankment Dams*. J. Geotech. and Geoenviron. Engrg. ASCE, 125 (4), 247-259, Apr. 1999.
- Andersen, G.R., Chouinard, L.E., Hover, W.H. and Cox, C.W., 2001. *Risk Indexing Tool to Assist in Prioritizing Improvements To Embankment Dam Inventories*. J. Geotech. and Geoenviron. Engrg. ASCE, 127 (4), 325-334, Apr. 2001.
- Andersen, G.R., Cox, C.W., Chouinard, L.E., and Hover, W.H., 2001a. *Prioritization of Ten Embankment Dams According to Physical Deficiencies*. J. Geotech. and Geoenviron. Engrg. ASCE, 127 (4), 335-345, Apr. 2001.
- Balai Keamanan Bendungan, Ditjen Sumber Daya Air, 2003. *Pedoman Inspeksi Keamanan Bendungan*. Januari 2003.
- Bambang Kuswidodo, 2008. *Prosedur Pembangunan dan Pengelolaan Bendungan di Indonesia*. Buletin KNI-BB NO.36-37 TH.XI Kwartal II/III-2008, Edisi Nop 2008, ISSN 1829-636X.
- Brotodihardjo, Agus P.P., 2005. *Peranan Geologi Teknik dan Geoteknik Keairan dalam Peningkatan Keamanan Bendungan*. Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama dalam Bidang Rekayasa Geologi Teknik, Jakarta, Agustus 2005.
- Carlina Soetjiono, 2006. *Pengkajian Instrumentasi Geoteknik pada Bendungan Tipe Urugan*. Buletin PUSAIR Vol.XV No. 45, Desember 2006, ISSN: 0852-5919.
- Carlina Soetjiono, 2007. *Pengkajian Uji Mutu Konstruksi dalam Rangka Menunjang Desain dan Pelaksanaan Bendungan Tipe Urugan*. Jurnal Sumber Daya Air Vol.3, No.4, Mei 2007; ISSN: 1907-0276.
- Carlina Soetjiono, 2008. *Evaluasi Tingkat Keamanan Bendungan di Bali, NTB dan NTT Menggunakan Hasil Inspeksi Lapangan dan Instrumen Geoteknik*. Jurnal Sumber Daya Air Vol.4, No.1, Mei 2008, ISSN: 1907-0276.
- Carlina Soetjiono, 2008a. *Application of Risk Indexing Tool for Evaluation of Constructed Dam Safety in Java*. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, Volume 3, Number 2: 63-72 May-August, 2008, ISSN 0126-2807, International indexing ICV 4.82 (2007).
- Carlina Soetjiono, 2009. *Penerapan Metode Indeks Risiko untuk Evaluasi Tingkat Keamanan Bendungan Urugan*. Prosiding Kolokium Hasil Litbang SDA Bekasi, 22-23 April 2009, ISSN: 1829-9644.
- Carlina Soetjiono dan Najooan, T.F., 1993. *Instrumentasi Geoteknik dalam Evaluasi Keamanan Bendungan Tipe Urugan*. Jurnal Litbang Pengairan No.26/1993; ISSN 0215-1111.
- Carlina Soetjiono dan Nugroho, Cl., 1993. *Tingkat Kerawanan Beberapa Bendungan di Indonesia*. Jurnal Informasi Teknik No.11/1993; ISSN 0215-1928.
- Carlina Soetjiono dan Sunarto, 1998. *Analisis Penurunan Bendungan Urugan Berdasarkan Data Instrumen di Pulau Jawa dan Bali*. Proceeding PIT XV HATHI Bandung 10-12 Des. 1998 ISSN 0853-6457.
- Carlina Soetjiono dan Sunarto, 2000. *Metode Analisis Desain Perbaikan Bendungan Samboja Berkaitan dengan Standar Tinggi Jagaan*. Kumpulan makalah (Proceeding) Seminar Nasional Bendungan Besar 2000, Jakarta tgl. 8-9 Maret 2000.
- Carlina Soetjiono dan Sunarto, 2002. *Inventarisasi Biaya Operasi dan Pemeliharaan Bendungan di Indonesia*. Jurnal Informasi Teknik No. 25/2002 ISSN: 0215-1928.
- Departemen Kimpraswil, 2002. *Pedoman Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan*. RSNI T-01-2002.

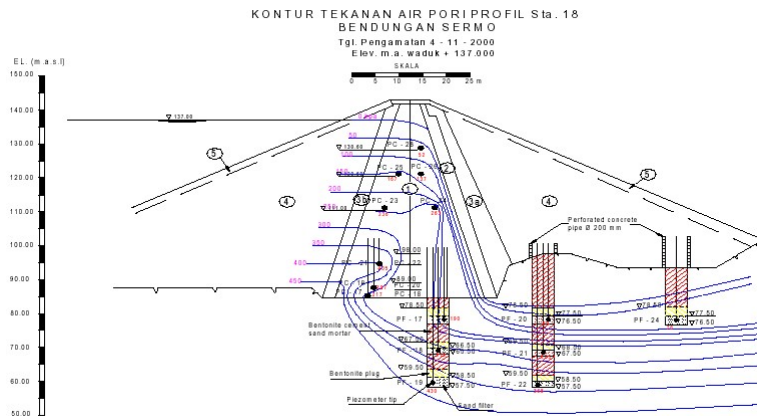
- Departemen Kimpraswil, 2002a. Pedoman Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air untuk Bendungan Tipe Urugan. RSNI M-02-2002.
- Departemen Kimpraswil, 2002b. Pedoman Metode Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan. RSNI M-03-2002.
- Departemen Kimpraswil, 2004. *Pedoman Uji Mutu Konstruksi Tubuh Bendungan Tipe Urugan*. Pd M-01-2004-A, Kep. Men Kimpraswil No: 260/ KPTS / M /2004, Jakarta, 10 Mei 2004.
- Departemen Kimpraswil, 2004a. *Pedoman Instrumentasi Tubuh Bendungan Tipe Urugan dan Tanggul*. Pd T-08-2004-A, Kep. Men Kimpraswil No: 260/KPTS/M/2004, Jakarta, 10 Mei 2004.
- Departemen Kimpraswil, 2004b. *Pedoman Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan akibat Beban Gempa*. Pd T-14-2004-A Kep Men Kimpraswil No: 260/ KPTS/M/2004, Jakarta, tgl. 10 Mei 2004.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1989. *Pedoman Keamanan Bendungan*. SNI 03-1731.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1997. Peraturan Menteri PU No. 72/PRT/1997 tentang *Keamanan Bendungan*. Dep. PU, 1 Juli 1997, 16 halaman.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005. Pedoman Penyelidikan Geoteknik untuk Fondasi Bangunan Air, Vol. 1 : Penyusunan Program Penyelidikan, Metode Pengeboran dan Deskripsi Log Bor. PdT-03.1-2005-A Kep. Men PU No: 498/KPTS/M/2005, Jakarta, tgl. 22 Nov 2005.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005a. *Pedoman Penyelidikan Geoteknik untuk Fondasi Bangunan Air, Vol. 2: Pengujian Lapangan dan Laboratorium*. PdT-03.2-2005-A Kep. Men PU No: 498/KPTS/M/2005, Jakarta, tgl. 22 Nov 2005.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005b. Pedoman Penyelidikan Geoteknik untuk Fondasi Bangunan Air, Vol. 3: Interpretasi Hasil Uji dan Penyusunan Laporan Penyelidikan Geoteknik. PdT-03.3-2005-A Kep. Men PU No : 498/KPTS/M/2005, Jakarta, tgl. 22 Nov 2005.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2006. *Pedoman Perencanaan Penanggulangan Bahaya Longsoran*. Pd-Longsor RPT3, KepMen PU No: /KPTS/T/2008, Jakarta, 2008.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2008. *Pedoman Analisis Dinamik Bendungan Urugan*. Kep. DirJen SDA No. 27/KPTS/D/2008, Jakarta, 2008.
- Ibnu Kasiro, 1998. *Ragam Kerusakan dan Keruntuhan Bendungan di Indonesia*. Bahan Kursus Dam Safety (O&P) di Udiklat PLN, Semarang, 26 Okt - 5 Nov 1998.
- Najoan, T.F., 2002. *Penentuan Beban Gempa pada Bangunan Pengairan*. Seri Bangunan Air, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air 2002, ISBN 979-3197-19-6.
- Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2006. *Tingkat Keamanan Bendungan di Jawa Vol. I: Jawa Timur*. Perpustakaan Nasional R.I. 333 halaman; ISBN 979-3197-46-3 (Jilid 1), th 2006.
- Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2006a. *Tingkat Keamanan Bendungan di Jawa Vol. II: Jawa Tengah*. Perpustakaan Nasional R.I. 521 halaman; ISBN 979-3197-46-3 (Jilid 2), th 2006.
- Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2006b. *Tingkat Keamanan Bendungan Besar Tipe Urugan di Pulau Jawa*. Apresiasi Karya Ilmiah, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2006; 174 halaman. SK Balitbang No. 11B/KPTS/KL/2006, Jkt, 1 Desember 2006.
- Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2007. *Tingkat Keamanan Bendungan di Jawa Vol. III: Jawa Barat*. Perpustakaan Nasional R.I. 367 halaman; ISBN 978-979-3197-56-2 (Jilid 3), th 2007.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2010 tentang *Bendungan* (Lembaran Negara RI Tahun 2010 No. 45, Tambahan Lembaran Negara RI No. 5117). Presiden Republik Indonesia, ditetapkan di Jakarta, tanggal 18 Februari 2010, 172 halaman.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 tentang *Sumber Daya Air* (Lembaran Negara RI Tahun 2004 No. 32, Tambahan Lembaran Negara RI No. 4377). Presiden Republik Indonesia, disahkan dan diundangkan di Jakarta, tanggal 18 Maret 2004, 105 halaman.

LAMPIRAN

Contoh analisis dan evaluasi keamanan Bendungan Sermo, tahun 2004 (grafik hubungan antara elevasi muka air waduk dan elevasi air pisometer dan kontur tekanan air pori pada profil pengamatan):

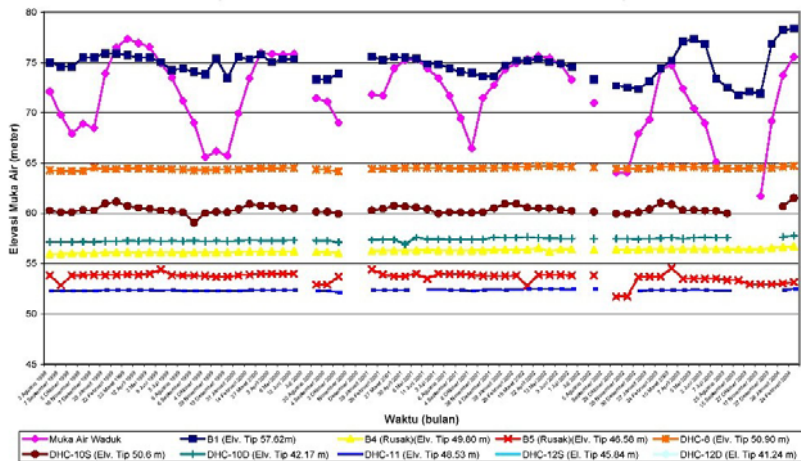


Gambar 1 Grafik hubungan antara elevasi muka air waduk dan elevasi air pisometer fondasi bendungan vs waktu pada potongan Sta-18 Bendungan Sermo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (Jawa Tengah)

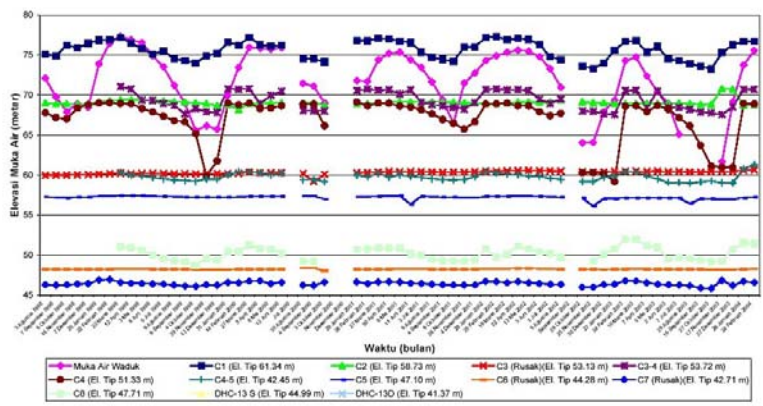


Gambar 2 Kontur tekanan air pori pada profil Sta-18 pengamatan tahun 2000 Bendungan Sermo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (Jawa Tengah)

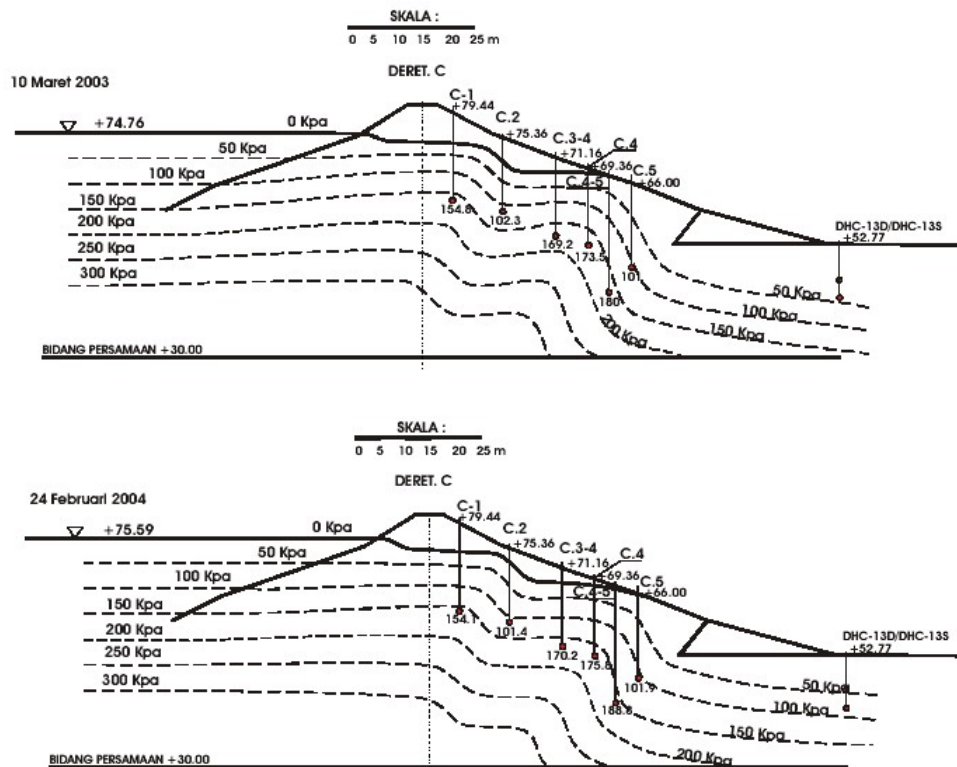
Contoh analisis dan evaluasi keamanan Bendungan Cacaban, tahun 2004 (grafik hubungan antara elevasi muka air waduk dan elevasi air pisometer dan kontur tekanan air pori pada profil pengamatan):



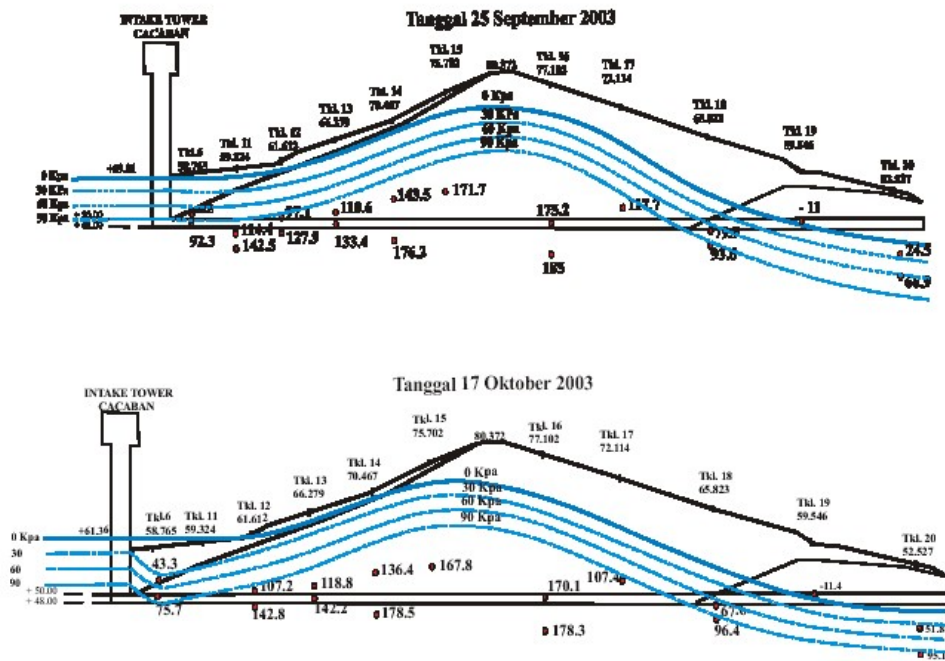
Gambar 3 Grafik hubungan antara elevasi air pisometer dan elevasi muka air waduk vs waktu pada deret B dari tgl. 3 Agustus 1998 s/d 24 Februari 2004, Bendungan Cacaban, Propinsi Jawa Tengah



Gambar 4 Grafik hubungan antara elevasi air pisometer dan elevasi muka air waduk vs waktu pada deret C dari tgl. 3 Agustus 1998 s/d 24 Februari 2004, Bendungan Cacaban, Propinsi Jawa Tengah

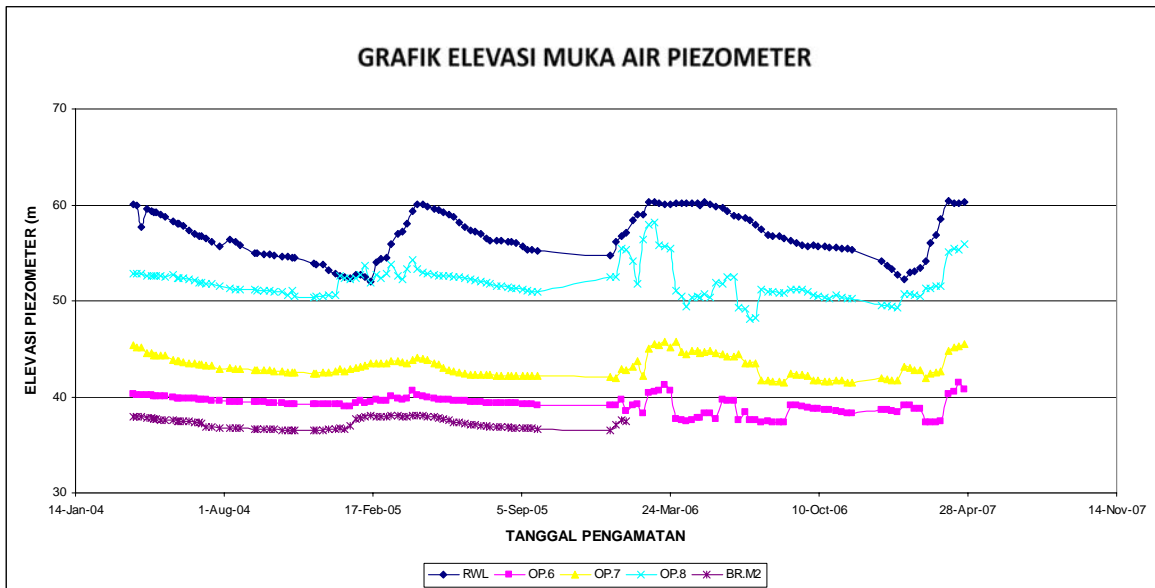


Gambar 5 Kontur tekanan air pori pada deret C tgl. 10 Maret 2003 dan 24 Februari 2004, Bendungan Cacaban, Propinsi Jawa Tengah

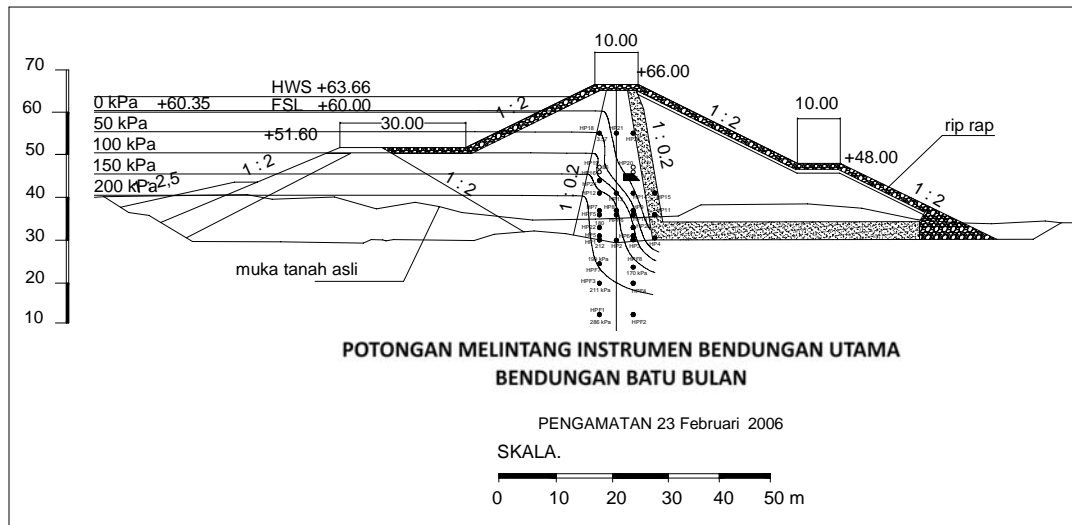


Gambar 6 Kontur tekanan air pori pada deret pisometer lewat terowongan outlet pada tgl. 25 September 2003 dan 17 Oktober 2003, Bendungan Cacaban, Propinsi Jawa Tengah

Contoh analisis dan evaluasi keamanan Bendungan Batu Bulan, tahun 2007 (grafik hubungan antara elevasi muka air waduk dan elevasi air pisometer dan kontur tekanan air pori pada profil pengamatan) :



Gambar 7 Grafik hubungan antara elevasi air pisometer dan elevasi muka air waduk vs waktu pada Bendungan Utama Batu Bulan, Propinsi Nusa Tenggara Barat



Gambar 8 Kontur tekanan air pori pada saat RWL berada pada elevasi tertinggi pengamatan tgl. 23 Februari 2006 pada Bendungan Utama Batu Bulan, Propinsi Nusa Tenggara Barat