

KRITERIA MATERIAL KONSTRUKSI UNTUK BENDUNGAN URUGAN (STUDI KASUS BENDUNGAN SINDANGHEULA)

EMBANKMENT MATERIAL CRITERIA FOR DAM CONSTRUCTION (CASE STUDY: SINDANGHEULA DAM)

Diah Affandi

Peneliti Puslitbang-SDA, Kementerian Pekerjaan Umum
Email: affandi.diah@yahoo.com

Diterima: 25 Agustus 2014 ; Disetujui: 26 November 2014

ABSTRAK

Untuk memenuhi kebutuhan pangan nasional, pemerintah berupaya meningkatkan pembangunan dibidang pengairan. Salah satu rencana pembangunan terdekat adalah dengan dibangunnya bendungan Sindangheula, yang berlokasi di Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Dinas Sumber Daya Air Provinsi Banten memilih salah satu lokasi potensial yang dapat dijadikan sebagai lokasi waduk/bendungan yaitu Sungai Cibanten. Salah satu masalah yang menjadi prioritas dalam penentuan tipe bendungan adalah ketersediaan material konstruksi yang berada di sekitar calon bendungan. Untuk memenuhi standar teknis terhadap pemilihan material konstruksi tersebut perlu dilakukan beberapa penyelidikan geoteknik, diantaranya penyelidikan terhadap material tanah (borrow area) untuk urugan tubuh bendungan (zona inti kedap air), material pasir (quarry pasir) untuk zona filter dan penyelidikan material batu (quarry batu) untuk zona urugan batu. Material tanah untuk inti zona kedap air, harus diperbaiki gradasinya (terlalu halus sehingga harus dicampur dengan matrial yang cukup kasar, dengan demikian akan menaikkan parameter kuat gesernya (c dan ϕ). Berdasarkan hasil plot grafik dari uji saringan diketahui bahwa material pada zone 2 memerlukan perbaikan gradasi (pencampuran). sehingga dapat menaikkan parameter kuat geser yang diperlukan dalam perhitungan analisa stabilitas. Material batu untuk zona transisi dan zona urugan batu, mengambil dari quarry G. Cisalak. Material untuk agregat beton mengambil dari quarry G. Cisalak (hasil penghancuran batu memakai stone crusher). Berdasarkan ketersediaan material konstruksi tersebut, maka tipe bendungan yang sesuai adalah bendungan tipe urugan batu dengan inti kedap air tegak.

Kata kunci : *Material konstruksi, zona inti, zona filter, zona batu, bendungan urugan*

ABSTRACT

To meet the national food requirements, government put lots of efforts to promote development in the irrigation. One of the closest development plan is the construction of the Sindangheula dam, which is located in Serang District, Banten. Banten Water Resources Department choose one of the main potential sites that could be used as the location of the reservoir/dam is in Cibanten River. One of priority issues in determination of the dam type, is the availability of construction materials which are located around the dam site plan. To meet the technical standards for the selection of the construction materials it is necessary to do some geotechnical investigations, including soil material investigations (borrow area) for dam body (core zone waterproof), sand material (quarrypasir) for the filter zone and rock material investigation (stone quarry) for a heap zone. Impermeable core zone material gradation must be improved (too fine so it must be mixed with adequate materials quite rough) so it will raise shear strenght parameters (c and ϕ). Based on the graph plot of grain size test analysis are known that the material in zone 2 in require for gradation mixing, due to that condition to increase the shear strength parameters required in the calculation of rock stability. Material analysis for transition zones and rock heap zones, taken from the Mt. Cisalak quarry, concrete aggregates Materials from quarry Mt. Cisalak (results stone crushing stone wear crusher). Based on the availability of construction materials, the appropriate type of dam is a rock fill dam- with impermeable core zone.

Keywords: *Construction materials, core zone, filter zone, rocks zone, Embankment dam*

PENDAHULUAN

Dalam rangka memenuhi kebutuhan pangan nasional dan meminimalkan perbedaan distribusi pengembangan sumber daya air di daerah-daerah, maka pemerintah Indonesia telah melaksanakan serangkaian usaha terus menerus dimana salah satunya adalah pembangunan di bidang pengairan yang dapat langsung dirasakan oleh masyarakat kecil/petani dalam memenuhi kebutuhan air irigasi maupun air baku.

Salah satu alternative untuk menentukan jenis bendungan harus disesuaikan dengan material yang ada dan terdekat di rencanakan lokasi bendungan. Terkait hal tersebut maka pengkajian mengenai kriteria material konstruksi untuk bendungan urugan sangat diperlukan, sehingga mendapatkan hasil pembangunan yang tepat dan efektif baik ditinjau dari segi kualitas bendungan maupun biayanya.

Untuk memenuhi kebutuhan air tersebut maka Balai Besar Wilayah Sungai Cidanau-Ciujung-Cidurian dan Dinas Sumber Daya Air Provinsi Banten memilih salah satu lokasi potensial yang dapat dijadikan sebagai lokasi waduk/bendungan Sindangheula yang dijadikan bahan kajian dalam tulisan ini.

Untuk mengetahui lokasi material dan ketersediaannya, diadakan penyelidikan geologi, berdasarkan pada Peta Geologi Lembar Serang, Skala 1 : 100.000 (P3G Bandung, 1981) dan Peta Rupa Bumi, Skala 1 : 25.000 yang diterbitkan oleh Bakosurtanal, 1989. Penyelidikan geologi tersebut meliputi :

Penyelidikan geologi tersebut meliputi :

- a. Penyelidikan material tanah dilokasi *borrow area* untuk urugan tubuh bendungan (zona inti kedap air).
- b. Penyelidikan material pasir (*quarry pasir*) untuk urugan tubuh bendungan (zona filter) dan agregat halus beton.
- c. Penyelidikan material batu di lokasi quarry batu untuk urugan tubuh bendungan (zona urugan batu) dan agregat kasar beton.

Diharapkan dari hasil pengkajian ini dapat diketahui dan ditetapkan jenis bendungan yang sesuai dengan material-material yang ada dilokasi setempat dan memenuhi persyaratan sebagai material untuk bahan urugan untuk rencana bendungan baik itu untuk zona inti kedap air, zona filter dan agregat halus beton serta zona urugan batu

KAJIAN PUSTAKA

Kajian Teknis

1 Tipe Bendungan Urugan

Berdasarkan buku bendungan type urugan (Suyono,1981) bendungan urugan dibagi dalam beberapa type yaitu :

1) Bendungan urugan tanah homogen

Ditinjau dari pelaksanaan pembangunannya bendungan tipe ini merupakan bendungan yang paling sederhana dibanding tipe lain. Akan tetapi karena sebagian besar material yang digunakan berupa tanah/lempung yang sensitif terhadap kandungan air, pelaksanaan pembangunan akan terganggu oleh curah hujan. Untuk mengurangi pengaruh air hujan terhadap timbunan, ada beberapa upaya yang dapat dilakukan, diantaranya:

- a. Tidak menghentikan pekerjaan sebelum hamparan tanah timbunan dipadatkan.
- b. Setiap akhir pekerjaan atau sebelum hujan, permukaan timbunan digilas dengan mesin gilas, sehingga membentuk "*sealing*" pada permukaan timbunan dan air tidak meresap kedalam timbunan
- c. Profil timbunan dibuat miring, sehingga air hujan yang jatuh diatas timbunan akan segera mengalir keluar daerah timbunan.
- d. Bila mungkin, permukaan timbunan ditutup dengan terpal atau lembaran plastik.

Timbunan berikutnya dilaksanakan setelah lapisan permukaan yang basah karena hujan dikupas, bila tidak turun hujan permukaan yang halus harus dicacah atau dikasarkan lebih dulu agar terbentuk ikatan yang baik dengan lapisan timbunan diatasnya. Pengkasaran juga perlu dilakukan, apabila dijumpai permukaan timbunan yang halus bekas lalu-lalang kendaraan atau peralatan konstruksi lain.

2) Bendungan zonal

Bendungan tipe ini memiliki 2 macam atau lebih zona timbunan, yaitu: zona kedap air, filter, transisi, zona lulus air atau zona batu. Zona kedap air atau inti, biasanya menggunakan tanah lempung yang sensitif terhadap air. Pada pekerjaan timbunan inti, hindari pembuangan air hujan yang kotor ke zona filter, karena dapat mengakibatkan filter menjadi buntu (clogging). Filter juga harus dijaga dari kontaminasi material zona inti disebelahnya dan guguran material dari kendaraan yang lewat menyeberangi zona filter, disamping itu gradasi filter dan juga transisi harus diperiksa dan dijaga agar selalu memenuhi spesifikasi teknis. Untuk

zona urugan batu, pilih dan tempatkan batu-batu berukuran kecil disamping transisi, kemudian yang lebih besar di bagian timbunan lebih luar. Awasi dengan teliti dan hindari penggunaan batu diluar jenis dan mutu yang ditetapkan. Bagi bendungan zonal urugan batu dengan inti miring, zona urugan batu dibawah inti juga berfungsi seperti fondasi bendungan, bentuk-bentuk ketidak beraturan pada sisi pertemuannya dengan filter dapat menyebabkan terjadinya penurunan yang tidak merata pada timbunan inti yang berakibat timbulnya retakan dalam timbunan.

3) Bendungan urugan batu

Bendungan tipe ini perlu fondasi yang lebih baik dibandingkan bendungan urugan lain, khususnya fondasi dibawah plint (minimal kelas CH), dan karena membran yang digunakan berupa plat beton yang relatif tipis, maka penurunan yang terjadi pada timbunan batu akan menimbulkan konsentrasi tegangan pada plat yang dapat berakibat terjadinya retakan pada plat, atau pergeseran pada sambungan yang berakibat sobeknya plat perapat air diantara sambungan membran. Oleh karenanya, untuk mencegah terjadinya penurunan yang besar, kualitas pemadatan dan batu yang digunakan harus benar-benar baik. Apabila digunakan membran lembaran baja atau geosintetik, pertemuan membran dengan tumpuan dan pasangan perlu diawasi dengan cermat karena sering timbul bocoran di tempat tersebut.

2 Material Timbunan

Berdasarkan bahan ajar pemadatan dan timbunan pada diklat PU tahun 2015, secara garis besar bahan atau material pokok timbunan tubuh bendungan dapat dibedakan dalam 2 (dua) macam, yaitu :

- a. Material yang fungsi utamanya untuk mendukung stabilitas tubuh bendungan, berupa material lulus air, seperti pasir, kerikil dan batu.
- b. Material yang fungsi utamanya untuk mencegah rembesan air dari waduk, berupa material kedap air yang umumnya berupa tanah lempungan.

Pada umumnya material lulus air tidak sensitif terhadap perubahan tingkat kadar air yang dikandungnya, sehingga karakteristik mekanisnya juga tidak banyak berubah saat terjadi perubahan kadar air, baik yang berasal dari air hujan maupun dari air tanah. Sebaliknya material kedap air sangat sensitif terhadap perubahan tingkat kadar air yang dikandungnya. Oleh karena itu, pada saat penimbunan, kadar air material tersebut harus selalu diawasi secara

teliti, apabila kadar airnya berbeda dari spesifikasi desain, maka kadar air material tersebut harus disesuaikan lebih dulu sebelum digunakan untuk timbunan.

Material untuk tubuh bendungan, biasanya diusahakan agar dapat diambil sedekat mungkin dari tempat lokasi calon bendungan. Hampir semua material tanah/batuan dapat digunakan sebagai material tubuh bendungan, kecuali tanah yang mengandung zat-zat organik atau zat-zat yang mudah larut lainnya.

Berhubung banyaknya jenis material yang terdapat di daerah sekitar lokasi calon bendungan, maka dengan dasar pemilihan material yang paling ideal, tubuh bendungan dapat direncanakan sedemikian rupa, sehingga didapatkan alternatif bentuk geometri yang paling menguntungkan.

Material timbunan/urugan, secara umum dapat dibedakan dalam 3 jenis, yaitu :

- a. Tanah
- b. Pasir Kerikil
- c. Batu

Berdasarkan material timbunan yang digunakan, tipe bendungan urugan dapat dibedakan menjadi 3 jenis, seperti tabel di bawah.

1) Material Tanah

Tanah adalah material yang paling penting untuk pembangunan sebuah bendungan urugan, karena setiap bendungan urugan akan selalu menggunakan material ini, baik untuk penimbunan tubuh bendungan seperti halnya pada bendungan tanah, maupun hanya untuk penimbunan-penimbunan pada zona-zona kedap air pada bendungan batu atau bendungan zonal lainnya.

Beberapa syarat teknis terpenting adalah sebagai berikut :

- a. Ditinjau dari stabilitas bendungan, kepadatan dan kuat geser harus memadai.
- b. Permeabilitas tanah harus sesuai dengan persyaratan yang diperlukan.
- c. Indeks kompresi kecil.
- d. Mudah dikerjakan (pada penggalian, pengolahan, pengangkutan, penimbunan dan pemadatannya).

Dari ukuran butiran maupun gradasi (distribusi ukuran butiran) dari suatu material dapat diperkirakan sifat teknisnya, antara lain sebagai berikut :

- a. Tanah berbutir kasar yang bercampur secara homogen dengan butiran-butiran yang lebih

halus, akan merupakan bahan yang baik untuk stabilitas bendungan.

- b. Semakin kecil ukuran butiran tanah, maka koefisien filtrasinya akan semakin rendah.

Seperti telah diuraikan diatas, semakin kecil ukuran butiran tanah, maka koefisien permeabilitasnya akan semakin rendah. Biasanya jenis tanah yang baik untuk zone atau lapisan kedap air adalah tanah dengan butiran yang agak kasar (*coarse grains*), tetapi bercampur secara homogen dengan dua jenis tanah yang lebih halus yaitu :

- a. Tanah yang 10-15 % bagiannya dapat melewati saringan berukuran 0,074 mm.
- b. Tanah lempungan yang 5 % bagiannya dapat melewati saringan 0,005 mm.

Material kedap air (ASTM D 2487-90) terdiri dari: lempung berplastisitas tinggi dan plastisitas rendah (CH dan CL), pasir lempungan dan kerikil lempungan (SC-GC), dan lanau lempungan (CL-ML). Material ini biasa digunakan sebagai material urugan zona inti dan selimut kedap air, memiliki koefisien permeabilitas setelah dipadatkan lebih kecil dari orde 10^{-5} cm/s.

Material semi kedap air, mencakup: lanau, pasir lanauan (SM), kerikil lanauan (GM), pasir lanauan dan pasir bergradasi buruk (SP) yang mengandung butiran halus yang lolos ayakan no. 200 hingga 12% (biasanya 5% adalah batas atas material lulus air) bersifat semi kedap air, walaupun dalam spesifikasi material diizinkan dipakai untuk material urugan zona lolos air.

2) Material Pasir dan Kerikil

Disamping sebagai bahan tubuh bendungan, biasanya material pasir dan kerikil ini merupakan material vital untuk lapisan filter atau transisi suatu bendungan. Oleh karena itu, gradasi dari bahan tersebut perlu mendapat perhatian khusus. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

- a. Gradasi material sesuai dengan fungsi yang dibebankan pada lapisan atau zona-zona pada calon tubuh bendungan.
- b. Tingkat kekerasan material setinggi mungkin dan mempunyai kekuatan geser yang cukup tinggi.
- c. Tidak mengandung campuran zat-zat organik atau mineral-mineral yang mudah larut.
- d. Mempunyai kestabilan struktur yang tinggi terhadap pengaruh-pengaruh atmosfer maupun kimiawi lainnya.
- e. Mempunyai kemampuan drainase yang cukup memadai.

Yang dimaksudkan material lulus air menurut "Pedoman Uji Mutu Konstruksi Tubuh Bendungan Tipe Urugan" adalah pasir dan atau kerikil non kohesif yang mempunyai sifat meluluskan air (*free drain*) dan mengandung butiran yang lolos saringan no. 200 kurang dari 5%. Uji kompaksi standar (*standard proctor*) di laboratorium terhadap material ini tidak dapat menghasilkan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum yang jelas, seperti halnya material kedap air (lempung). Kepadatan kering di lapangan dapat diperoleh dari hubungan kepadatan maksimum dan minimum yang dapat diperoleh dari pengujian kepadatan relatif di laboratorium dengan menggunakan meja getar (SNI 03-1965-1990). Biasanya, zona urugan luar (*shell*) suatu bendungan menggunakan tanah berbutir kasar yang mengandung sejumlah butiran halus dan didesain sebagai zona lulus air.

3) Material Batu

Material batu digunakan sebagai zona lulus air atau setengah lulus air pada bendungan zonal dan untuk hamparan pelindung pada lereng udik atau timbunan drainase tuit di sebelah bawah lereng hilir (tuit) bendungan tanah.

Jenis batuan yang cocok sebagai material urugan dari suatu bendungan, adalah seperti tabel di bawah.

Tabel 1 Jenis Batuan yang Cocok untuk Bendungan

Jenis batuan yang baik untuk digunakan sebagai bahan.	Jenis batuan yang harus dipertimbangkan
Granit	Serpih, batu sabak
Basalt, andesit, dan riolit	Tufa
Batu pasir yang berumur sebelum era Mesozoik	Batu pasir yang berumur era kenozoikum
Batu gamping Kwarsit	Genes, sekis yang mengandung banyak retakan

4) Material Campuran

Material ini digunakan untuk memenuhi persyaratan tertentu, karena material yang ada dan tersedia di lapangan tidak memenuhi persyaratan, misalnya lempung dengan platisitas tinggi dengan kadar air dan indeks platisitas tinggi (CH) yang berpotensi bersifat

ekspansif dan sulit dikerjakan pada kadar air mendekati kadar air optimum.

Untuk memperbaiki sifat dan konsistensinya tersebut jenis tanah tersebut yang dikenal sebagai **stabilisasi tanah** dengan cara pencampuran dengan pasir atau kapur, tergantung kemudahan dan tersediaannya material pencampur tersebut di lapangan. Dengan cara stabilisasi tersebut disamping kemudahan pengerjaan (*workability*), juga meningkatkan kuat geser tanah. Khusus mengenai tanah dispersif ini dibahas lebih dalam pada bab tersendiri.

5) Material Random

Selain material seperti yang telah diuraikan di atas, kadang-kadang juga digunakan material yang kualitasnya lebih rendah, seperti:

- Material batu yang berasal dari batuan lunak yang mudah lapuk.
- Material dari dua jenis material tanah, pasir atau kerikil yang tidak mungkin terpisahkan, karena pelapisannya pada tempat penggalian terlalu tipis.
- Material hasil galian dari pondasi zona kedap air atau pondasi bangunan pelengkap bendungan.
- Material hasil galian jalan-jalan masuk atau jalan eksploitasi.
- Material yang penyebarannya cukup luas, tetapi tidak mempunyai karakteristik yang seragam.

Material seperti tersebut biasanya dimanfaatkan sebagai material timbunan zona sembarang (*random zone*). Zona sembarang ini bersama-sama dengan zona-zona lain dari tubuh bendungan berfungsi untuk mempertahankan kestabilan tubuh bendungan.

Bila material random ini digunakan pada bendungan tipe sekat, maka sebagai lapisan kedap air yang dipasang pada lereng hulu, digunakan material seperti beton aspal, beton bertulang, material pelapis kedap air. Akan tetapi pada perhitungan stabilitas bendungan, terutama perhitungan longsor, kekuatan geser material pelapis kedap air yang tipis ini biasanya diabaikan.

Persyaratan Material Timbunan

1 Zona Kedap Air

Persyaratan utama untuk material kedap air adalah :

- Koefisien permeabilitas serta kekuatan geser yang diinginkan.

- Tingkat deformasi yang rendah.
- Mudah pelaksanaan pematatannya.
- Tidak mengandung zat-zat organik serta bahan-bahan mineral yang mudah terurai.
- Dan lain - lain

Beberapa kriteria dari persyaratan tersebut diuraikan seperti di bawah.

1) Koefisien permeabilitas

Sebagai pedoman, koefisien permeabilitas (k) dari material yang digunakan untuk zone kedap air supaya tidak melebihi nilai 1×10^{-5} cm/s. Pada hakekatnya semakin halus suatu material, maka koefisien permeabilitasnya akan semakin rendah dan nilai k biasanya sudah dapat diperkirakan berdasarkan besarnya prosentase butiran material yang dapat melalui saringan No.200. Hasil-hasil penelitian menunjukkan, bahwa apabila suatu material yang butiran halus dapat melalui saringan No.200 lebih rendah dari 7 %, maka material tersebut biasanya lulus air. Akan tetapi apabila lebih dari 50 % yang dapat melalui saringan tersebut, maka material tersebut juga tak dapat dipergunakan sebagai material kedap air, karena material semacam ini plastisitasnya sangat tinggi dan berpotensi untuk mudah mengembang/menyusut (tanah dispersif). Selain itu, perlu diingat bahwa untuk material yang sama, akan memberikan nilai k yang berbeda, apabila tingkat kepadatannya dan angka kadar airnya berbeda-beda. Nilai k suatu material akan paling rendah pada kadar air sedikit lebih tinggi dari kadar air optimumnya (OMC), yakni sekitar 2@3% OMC (*wet side*).

2) Kekuatan geser

Untuk material berbutir halus (lempungan), biasanya mempunyai kuat geser yang lebih rendah dibandingkan yang berbutir kasar. Besar kuat geser material ini dipengaruhi oleh kadar air serta tingkat pematatannya, karena itu walaupun dari material yang sama, kuat gesernya akan berubah, apabila kadar air serta tingkat pematatannya berubah pula. Akan tetapi pada material berbutir kasar, perubahan-perubahan kuat gesernya tidak terlalu besar, walaupun material tersebut mempunyai kemampuan penyerapan air yang tinggi (angka porinya besar). Pematatan suatu material tanah, biasanya dilaksanakan pada kadar air mendekati kadar air optimum dan akan memberikan kuat geser yang tinggi. Akan tetapi setelah waduk terisi air dan material menjadi jenuh air, maka kuat gesernya akan menurun.

Kuat geser suatu material, biasanya ditentukan oleh kohesi (c) dan sudut geser

dalam (\emptyset). Pada umumnya, suatu material dengan tingkat kepadatan $D = 95$ s/d 98% merupakan harga yang cukup baik untuk digunakan pada penimbunan tubuh bendungan. Sedang material timbunan dengan harga $D = 90$ s/d 95% biasanya digunakan untuk pembangunan bendungan yang rendah (< 30 meter) atau untuk bendungan dari timbunan material berbutir halus, dimana penimbunannya dilakukan pada kadar air yang lebih basah dari kadar air optimumnya.

3) Konsolidasi

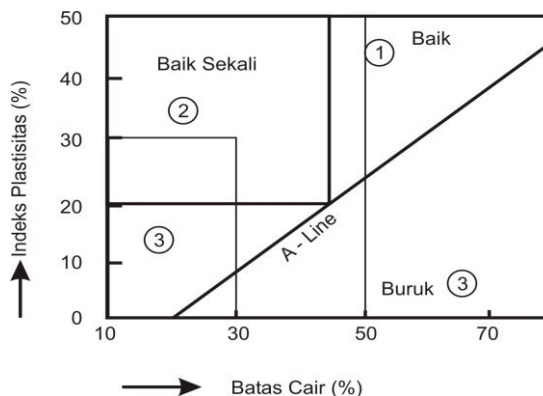
Semakin halus gradasi suatu material dan semakin tinggi kadar airnya, maka indeks kompresinya akan menjadi lebih besar dan tekanan air pori mungkin dapat meningkat pada saat berlangsungnya proses konsolidasi tersebut. Dengan demikian dalam tubuh bendungan yang baru selesai ditimbun, selain tekanan - tekanan yang disebabkan oleh hasil pemadatan, maka timbul pula tekanan-tekanan tambahan yang diakibatkan oleh adanya proses-proses konsolidasi tersebut di atas (tekanan konsolidasi). Terutama untuk material tubuh bendungan yang kadar airnya yang lebih tinggi dari kadar air optimumnya, maka pada saat penimbunan dan pemadatan, tekanan air pori dapat meningkat cukup signifikan yang dapat mempengaruhi stabilitas bendungan.

4) Kemudahan Pengerjaan

Pada umumnya penimbunan dan pemadatan material berbutir kasar lebih mudah dilaksanakan dibandingkan dengan material berbutir halus. Demikian pula kadar air suatu material urugan dapat mempengaruhi pelaksanaannya; pada kondisi kadar air sedikit rendah dari kadar air optimumnya (*dry side*), penimbunan dan pemadatan tanah akan lebih mudah dilaksanakan dibandingkan dengan tanah yang kadar airnya hanya beberapa persen saja bergeser ke arah yang lebih tinggi dari titik optimum tersebut (*wet side*).

5) Kandungan Organik

Kandungan organik adalah merupakan zat-zat yang mudah terurai yang dapat mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan fisik dari zat-zat tersebut yang dapat menurunkan kekuatan geser material. Oleh karena itu, material yang terpilih untuk tubuh bendungan supaya bebas dari campuran zat-zat organik, atau kandungan organik tersebut tidak boleh melebihi 5% . Di bawah adalah *plasticity chart* untuk menentukan jenis dan klasifikasi tanah.



Gambar 1 Plasticity chart tanah

2 Zona Filter dan Transisi

Untuk mencegah terbawanya material halus dari zona inti, maka di bagian hulu dan hilir zona inti dilengkapi dengan zona filter dan zona transisi, sebelum zona batu sebagai zona terluar dari suatu bendungan tipe zonal.

Material yang digunakan untuk zona filter/transisi tersebut adalah berupa pasir dan kerikil yang dipilih sedemikian rupa, supaya mempunyai kuat geser dan kemampuan meluluskan air (drainase) yang memadai. Agar filter dapat berfungsi sebagai penyangkutan butiran-butiran halus dari zona inti yang dilindungi, maka jenis material tersebut harus memenuhi persyaratan seperti diuraikan di bawah.

1) Kriteria pokok

- Filter harus dapat mencegah terjadinya pengangkutan butir tanah oleh rembesan
- Permeabilitas (k) filter harus jauh lebih besar dari pada urugan yang dilindungi, permeabilitas filter sekitar $20 \sim 100$ permeabilitas inti.

Agar filter dapat berfungsi dengan baik, gradasi filter harus memenuhi kriteria berikut :

2) Kriteria gradasi filter

- Persentase butir yang melewati saringan No. 200 harus kurang dari 5% berat setelah dipadatkan.
- $\frac{d_{15F}}{d_{15B}}$ harus > 5
- Kriteria filter terkait dengan jenis tanah dasar yang dilindungi, disajikan pada Tabel 2 di bawah.

Tabel 2 Hubungan antara jenis tanah dasar dan kriteria filter

Kategori Tanah	Deskripsi Tanah Dasar dan Saringan No. 200 ¹⁾	Kriteria Filter ²⁾
1	Lanau halus dan lempung yang melewati saringan No. 200 > 85 %.	$\frac{D_{15F}}{D_{85B}} \leq 9$ ³⁾
2		$D_{15F} \leq 0,7 \text{ mm}$
3	Pasir, lanau, lempung, dan pasir lanauan, dan pasir lempungan yang melewati saringan No. 200 antara 40 % - 85 %.	$D_{15F} \leq 0,7 \text{ mm} \text{ 4) + } \frac{(40-A)(4 \times D_{85B} - 0,7 \text{ mm})}{25}$ ⁵⁾
4	Pasir dan kerikil mengandung lanau dan lempung yang melewati saringan No. 200 antara 15 % - 39 %. Pasir dan kerikil lebih kecil dari 15 % yang melewati saringan No. 4 (melewati 4, 75 mm)	$D_{15F}/D_{85B} \leq 4$ ⁶⁾

Keterangan :

- 1) Kategori tanah yang mengandung butiran > 4,75 mm ditentukan dari kurva gradasi dari tanah dasar setelah disesuaikan menjadi 100 % melewati saringan No. 4.
- 2) Ukuran terbesar butir filter adalah 75 mm dan persentase yang melewati saringan No. 200 maksimal 5 % dan indek plastisitas ditentukan berdasar material yang melewati saringan no. 40. Untuk meyakinkan filter mempunyai permeabilitas yang cukup maka $\frac{D_{15F}}{D_{85B}} \geq 5$ dan lebih kecil dari 0,10 mm.
- 3) Apabila $9 \times D_{85B} < 0,20 \text{ mm}$, maka digunakan 0,20 mm.
- 4) A adalah persentase saringan yang melewati saringan No. 200 setelah dibuat gradasi sesuai filter.
- 5) Apabila $4 \times D_{85B} < 0,7 \text{ mm}$, maka digunakan 0,7 mm.

- 6) Untuk tanah kategori 4, D_{85B} dapat ditentukan dari kurva gradasi awal tanpa penyesuaian untuk butir-butiran yang lebih besar dari 4,75 mm.
- 7) - D_{15F} adalah ukuran butiran material filter yang terletak di garis 15 % pada kurva gradasi.
- D_{15B} adalah ukuran butiran material zona yang dilindungi yang terletak di garis 15 pada kurva gradasi.
- D_{85B} adalah ukuran butiran material zona yang dilindungi yang terletak di garis 85 % pada kurva gradasinya.
- 8) Di dalam susunan material filter tidak diperkenankan adanya butiran halus melebihi 5 % (yang dapat melalui ayakan No. 200) dan juga pada material filter tidak diperkenankan adanya butiran yang bersifat kohesif.

Koefisien permeabilitas filter, dapat diketahui dari hasil uji lapangan atau uji laboratorium terhadap contoh tanah tidak terganggu. Pada desain awal, permeabilitas filter dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus empiris *Hazen*, seperti berikut:

$$k = C \times D_{10}^2 \tag{1}$$

Keterangan :

- k, koefisien permeabilitas [cm/s];
- C, konstanta = 1, berlaku untuk pasir dan kerikil bergradasi seragam, tanpa sementasi dan bersih (lanau dan lempung < 5%);
- D_{10} , ukuran butir yang lewat saringan 10 % pada kurva gradasi material (mm)

Pada hakekatnya persyaratan-persyaratan yang telah diuraikan tersebut di atas, merupakan persyaratan yang paling aman, terutama untuk melindungi zona-zona yang terdiri dari material yang mengandung banyak lempung atau material dengan butiran yang hampir seragam.

3 Zona Batu

Batu yang diperoleh dengan cara memecahkan lapisan batuan masif atau material bongkah pecahan batuan yang biasanya terdapat pada alur-alur sungai, disebut sebagai material batu. Bendungan urugan yang sebagian besar tubuhnya terdiri dari timbunan batu berdiameter rata-rata 10-75 cm disebut bendungan batu (*rockfill*). Material batu dianggap ideal, apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Ukuran diameter batu antara 45 - 60 cm dengan berat antara 250 - 500 kg atau lebih.

- b. Batu yang berdiameter kurang dari 10 cm yang terdapat dalam timbunan tubuh bendungan, komposisinya tidak diperkenankan melebihi 5 %.
- c. Material batu tidak mudah pecah, baik dalam pengangkutan maupun pada saat penuangan dari alat pengangkutan (*dumping*).
- d. Berat jenisnya tidak kurang dari 2,5.
- e. Kuat tekan batu tidak kurang dari 700 kg/cm².
- f. Daya tahan terhadap pelapukannya, tinggi (pada pengujian dengan cairan Na₂SO₄ penyusutannya tidak melebihi 0,015 %).

Untuk bendungan yang tingginya kurang dari 50 meter, dapat digunakan material batu dengan persyaratan sebagai berikut:

- a. Berat jenis sekitar 2,3.
- b. Kuat tekan batu sekitar 300 kg/cm².
- c. Daya tahan terhadap pelapukan pada pengujian dengan cairan Na₂SO₄, penyusutannya sebesar 0,15 %).

Kekuatan geser material batu dapat ditentukan sebagai berikut:

- a. Apabila material batu cukup keras dan stabil, maka biasanya untuk D₅₀ = 2 - 10 cm (D₅₀ adalah ukuran diameter dari material batu yang terletak pada garis 50 % lolos saringan dari kurva gradasi), sudut geser dalam (Ø) adalah sekitar 40°.
- b. Sedangkan untuk D₅₀ > 15 cm, harga Ø dapat diambil sebesar 45°.
- c. Akan tetapi untuk material batu yang kuat tekannya tidak besar, maka pengambilan harga Ø = 35° sudah cukup aman. Kestabilan karakteristik material batu, merupakan faktor yang mutlak diperlukan, karena pada tubuh bendungan material ini harus mampu bertahan sepanjang umur eksploitasi yang direncanakan (biasanya lebih dari lima puluh tahun). Oleh karena itu, material batu harus dipilih yang keras dengan intensitas retakan yang rendah pada setiap bongkah batu dan mempunyai daya tahan yang tangguh terhadap pengaruh air maupun pengaruh atmosfer lainnya. Semakin besar ukuran batu serta semakin masif batu tersebut, maka material ini akan semakin baik. Karena itu biasanya material batu yang berasal dari batuan beku atau batuan metamorfis, merupakan material yang memenuhi persyaratan tersebut di atas. Material yang berasal dari batuan sedimen kadang-kadang juga dapat digunakan terutama batuan sedimen tua, tetapi harus

dilakukan penelitian yang seksama. Jenis bahan batu yang umumnya memenuhi syarat sebagai material timbunan tubuh bendungan dapat diklasifikasikan seperti pada tabel di bawah.

Tabel 3 Batu yang digunakan sebagai material timbunan bendungan

Batuan sangat baik untuk bendungan urugan	Batuan yang dalam penggunaannya perlu penelitian yang seksama
Granit, Andesit, Riolit, Basalt, Batuan pasir berumur sebelum Mesozoikum, Batuan kapur, Batuan silikat	Shale, Slate, Tuff, Batuan pasir berumur Neozoikum, Gneiss, Schist

Mengingat material batu tersebut biasanya diledakkan guna memperoleh ukuran batu serta gradasi yang sesuai dengan spesifikasi teknisnya, maka dilakukan uji peledakan di lapangan untuk menentukan cara-cara peledakan yang sesuai, terutama mengenai kedalaman dari pada setiap lubang.

Apabila gradasi material batu tersusun dari ukuran butiran kecil, maka pemadatan yang dilakukan adalah dengan metode pemadatan pelapisan (*placement compaction method*) yang merupakan cara pemadatan yang paling baik. Sedangkan untuk gradasi material batu berukuran besar, pemadatan yang dilakukan dengan metode pemadatan menuang - ratakan (*dumping and slincing compaction method*) yang merupakan cara yang paling sesuai.

Apabila material batu mengandung 7 % butiran halus (yang dapat melalui saringan No. 200 dengan ukuran lubang 0,074 mm), maka material campuran ini akan bersifat kedap air. Akan tetapi apabila kandungan bahan berbutir halus hanya mencapai > 4 %, maka material campuran ini akan bersifat semi-kedap air.

4 Zona Random

Material random ini karena merupakan hasil galian yang biasanya ditempatkan pada bagian bendungan yang tidak membahayakan, material ini tidak mempunyai kriteria dan persyaratan khusus. Namun, kandungan material halus dan organik tetap tidak boleh > 5%, disamping bukan berasal dari batuan yang terlapuk kuat.

Quarry

Rencana Pelaksana pengeboran dan peledakan harus mendapat persetujuan Direksi dan Insatnsi Keamanan. Uji galian mungkin diperlukan untuk mengetahui apakah produksi batu sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan

Uji Quarry

Uji quarry biasanya dilakukan dalam satu rangkaian dengan uji pemadatan timbunan, sehingga segala sesuatu yang berhubungan dengan perilaku batuan sejak dari pengeboran, peledakan hingga pemuatan, dapat dievaluasi.

Uji quarry dilakukan untuk memperoleh :

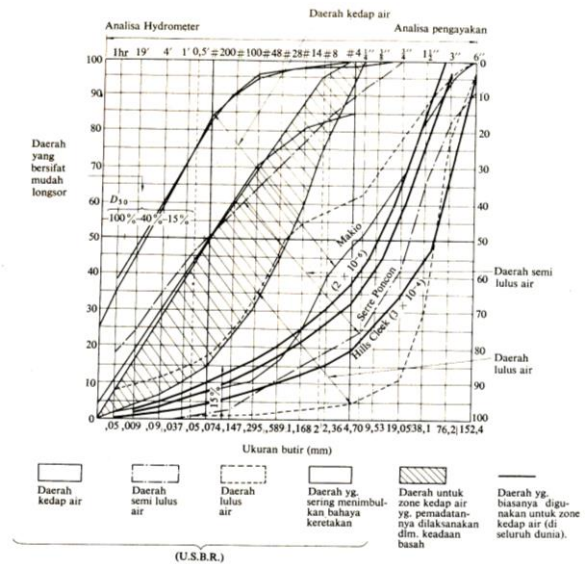
- a. Informasi bagi desainer, geologist, dan pengawas lapangan mengenai desain pekerjaan galian, efek struktur geologi terhadap produk, cara peledakan yang terbaik dan kontrol dalam pembuatan batu pecah untuk bangunan.
- b. Contoh material uji yang dapat mewakili.
- c. Memberi gambaran kepada Pelaksana, mengenai pengeboran dan perilaku batuan saat peledakan.
- d. Penentuan proses lebih lanjut, bila diperlukan, untuk pengolahan batu quarry, antara lain penguasaan dari lahan quarry tersebut.

Pengawasan pada waktu pelaksanaan uji quarry dilakukan untuk menjamin bahwa :

- a. Tetap dipatuhinya spesifikasi uji quarry walaupun ada perbedaan didalam metode uji dan prosedur, dengan demikian perbandingan dari metode yang berbeda dan analisa dari informasi lain, akan punya arti.
- b. Kelengkapan dan akurasi data disimpan selama pekerjaan berlangsung.
- c. Harus dibuat laporan yang mencatat hal-hal sebagai berikut :
 - a) Tipe mesin pengebor yang digunakan.
 - b) Kecepatan pengeboran, untuk masing-masing tipe batuan.
 - c) Diameter, kedalaman, pola, jarak, lobang bor, tipe dan intensitas bahan peledak.

Metode pengeboran dan peledakan yang dilakukan oleh kontraktor, mempunyai pengaruh yang sangat menentukan terhadap gradasi batu yang dihasilkan. Pada umumnya, pengalaman dari Pelaksana sangat penting; pengalaman terhadap peledakan pertama akan memperoleh kriteria pengeboran dan pola peledakan. Jarak pengeboran dan intensitas bahan peledak, tergantung pada kondisi batuan

setempat. Produksi batu/Quarry, bisa menggunakan cara "Bench cutting atau Coyote holing". Metode coyote memerlukan peledakan besar, awalnya lebih murah bila dibandingkan Bench Cutting, tetapi kemudian masih diperlukan peledakan susulan untuk memecah batu yang besar tersebut. Peledakan metode coyote tidak digunakan bila ingin mendapatkan material batu untuk struktur.



Gambar 2 Kriteria Gradasi Menurut USBR

Menurut Indra Mustomo, dkk., Dengan tulisan berjudul Studi perubahan karakteristik fisik, mekanik dan dinamik tanah terhadap siklus pembasahan dan pengeringan pada tanah permukaan lereng di Ngantang-Malang (Jurnal Teknik Pomits Vol.1 N0.1, 2013. 1-7), bahwa ada hubungan kadar air (wn) dan berat volume tanah kering (γd) pada setiap kedalaman, pada kondisi pembasahan terlihat nilai kadar air (wn) meningkat diikuti dengan nilai berat volume tanah kering (γd) menurun.

Hasil penelitian lainnya yang bersumber dari hasil skripsi Alpon Sirait, (Maranatha) dengan judul Karakteristik Bahan Timbunan Tanah Pada Lokasi Rencana Bendungan Danau Tua, Rote Timor dan Bendungan Haekrit, Atambua Timor, juga telah dikembangkan persamaan empiris dengan menggabungkan data-data dengan menggunakan hubungan batas plastis dengan parameter lain yang hasilnya,

$$\begin{aligned}
 OMC &= 0,9244(IP) - 5,5122; \\
 MDD &= -0,0204(IP) + 2,191; \\
 \Phi &= -0,0846(IP) + 14,416; \\
 \Phi' &= -0,0386(IP) + 22,554; \\
 C &= 0,0002(IP) + 19,983; \\
 c' &= -0,2086(IP) + 21,71;
 \end{aligned}$$

$$cc = 0,006(IP) + 0,1455;$$

$$cs = 0,0014(IP) + 0,0223;$$

$$pc = 0,0068(IP) + 1,5779;$$

$$Sw = a IP + b;$$

$$k = 0,3707(IP) + 6,4769.$$

METODOLOGI

Pengkajian material konstruksi pada bendung Sindangheula ini dilakukan dengan metode sebagai berikut :

1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data sekunder berupa sumber-sumber data dan informasi geologi dan historis yang penting antara lain adalah:

- Penyelidikan geoteknik masa lampau (data historis) di atau dekat lokasi proyek;
- Peta, laporan dan publikasi dari Direktorat Geologi;
- Perpustakaan universitas setempat dan perpustakaan pusat dari institusi terkait;
- Data geologi, data gempa, peta bahaya gempa, peta patahan, dan informasi dari instansi atau institusi yang terkait (BMG, Direktorat Geologi, Pusat Litbang Sumber Daya Air).

2 Peninjauan Lapangan

Peninjauan lapangan ke lokasi rencana proyek diperlukan untuk memperluas informasi geologi, geoteknik, dan kondisi jalan masuk.

Data dan informasi yang diperlukan untuk peninjauan lapangan adalah:

- Rencana desain dan konstruksi serta kondisi lapangan secara umum;
- Peninjauan geologi, geomorfologi dan kondisi jalan masuk untuk membantu transportasi peralatan lapangan;
- Penyelidikan Geoteknik

3 Penyelidikan Geoteknik

Penyelidikan geoteknik dilakukan sehubungan dengan hal-hal:

- Mengkaji informasi geologi dan geoteknik yang tersedia;
- Mengkaji data lapangan yang diperoleh Penyelidikan tahap kedua atau tahap akhir dilaksanakan untuk mendapatkan informasi geoteknik lapangan secara khusus pada lokasi-lokasi pondasi yang diperlukan dalam desain dan untuk mengurangi risiko kondisi tanah yang tidak terduga selama konstruksi;

- Pengujian, pengujian dilakukan dengan cara pengujian dilapangan dan pengujian di laboratorium untuk mengetahui sifat indeks maupun sifat fisiknya .

Metode pengujian terhadap material konstruksi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4 Prosedur Pengujian Material Tanah

Jenis Uji	Standar yang dipakai
Kadar air asli	SNI 03-1965-1990
Berat isi tanah asli	SNI 03-3637-1994
Berat jenis	SNI 03-1964-1990
Batas-batas atterberg	SNI 03-1966-1990 dan SNI 03-1967-1990
Gradasi (ayakan dan hydrometer)	SNI 03-3423-1994
Pemadatan standar	SNI 03-2832-1992
Konsolidasi	SNI 03-2812-1992
Permeability	SNI 03-6870-2002
Triaxial UU	SNI 03-4813-1998
Triaxial CUBP	SNI 03-2455-1991
Emerson Crumb Test	BS 1377 : Part 5 : 1990
Pin hole test	BS 1377 : Part 5 : 1990

Tabel 5 Prosedur Pengujian Material Pasir

Jenis Uji	Standar yang dipakai
Berat jenis	SNI 03-1970-1990
Relative density	ASTM
Serapan air	SNI 03-1970-1990
Gradasi	SNI 03-1969-1990
Kadar Lumpur	SNI 03-4142-1996
Soundness	SNI 03-3407-1994

Tabel 6 Prosedur Pengujian Material Batu

Jenis Uji	Standar yang dipakai
Kadar air dan serapan	SNI 03-2437-1991
Specific gravity	SNI 03-2437-1991
Kuat tekan uniaksial	SNI 03-2825-1992
Abrasi Los Angeles	SNI 03-2417-1991
Soundness	SNI 03-3407-1994
Large scale direct shear test	JIS
Petrografi	ISRM-1981

Tabel 7 Prosedur Pengujian Lapangan

Jenis Uji	Standar yang dipakai
Pemboran	SNI 03-2436-1990
Sumur Uji	SNI 13-6606-2000
Sampling Undisturb	ASTM-D587-00
Sampling disturb	ASTM-D3550

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Material Tanah

Dengan berpedoman pada Peta Geologi Lembar Serang, Skala 1 : 100.000 (P3G Bandung, 1981) dan Peta Rupa Bumi, Skala 1 : 25.000 yang diterbitkan oleh Bakosurtanal, 1989 telah diadakan penyelidikan geologi untuk mengetahui lokasi dan ketersediaan material konstruksi. Penyelidikan geologi tersebut meliputi :

- a. Penyelidikan material tanah (*borrow area*) untuk urugan tubuh bendungan (zona inti kedap air).
- b. Penyelidikan material pasir (quarry pasir) untuk urugan tubuh bendungan (zona filter) dan agregat halus beton.

- c. Penyelidikan material batu (quarry batu) untuk urugan tubuh bendungan (zona urugan batu) dan agregat kasar beton.

Penyelidikan untuk penyediaan bahan inti kedap berupa material tanah telah dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan survai geologi pada daerah dengan radius 1,5 - 5 km dari lokasi calon bendungan. Pada daerah tersebut telah ditemukan 3 (tiga) lokasi *borrow area* tanah seperti pada tabel 8.

2 Material Pasir

Material pasir untuk zona filter yang telah diselidiki terletak di 2 lokasi, yaitu quarry Desa Pondok Kahuruk Kecamatan Ciomas dan material pasir di sungai Ciujung. Penyelidikan ini berpedoman pada peta Topografi pada Peta Topografi Bakosurtanal skala 1 : 25.000 dan Peta Geologi Lembar Serang skala 1 : 250.000 (P3G Bandung, 1981).

1) Material Pasir Pondok Kahuruk

Lokasi quarry pasir secara administratif terletak di Desa Pondok Kahuruk Kecamatan Ciomas, Kabupaten Serang. Jarak lokasi quarry pasir dari calon bendungan Sindangheul ± 10 km ke arah Barat Daya. Jenis material berupa pasir

Tabel 8 Ringkasan Hasil Pengujian Laboratorium Material Tanah, Bendungan Sindangheula, Kab. Serang

Borrow Area		Sample No.	Kedalaman	Kadar Air	Berat Isi Asli	Berat Jenis	Batas-batas Atterberg				Gradasi Butiran				USCS	Pemadatan Standar			Triaksial				Konsolidasi		Koef. Permeab	Pin Hole	Crumb Test
			m	W _n	γ _n	G _s	LL	PL	PI	G	S	M	C		OMC	γ _d	γ _t	C	Φ	C'	Φ ¹	e ₀	C _c	k			
				%	kN/m ³	-	%	%	%	%	%	%	%	-	%	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	der	kN/m ²	der	-	-	cm/det			
A	(2008)	TP-1	1.80 - 2.00	43.51	17.30	2.681	97	51	45	0.0	1.8	7.7	90.5	MH & CH	38.2	12.38	17.21	21.0	16.17	10.0	32.28	1.277	0.23	3.76E-07	ND.1	T.1	
		TP-2	1.80 - 2.00	54.97	14.20	2.678	101	50	51	0.0	3.0	6.7	89.3	MH & CH	39.9	12.29	17.26	220.0	5.71	12.0	23.83	1.281	0.28	6.01E-09	ND.1	T.1	
		TP-3	1.60 - 1.80	47.64	16.70	2.703	98	49	49	0.0	1.4	9.3	89.3	MH & CH	46.8	11.37	16.69	124.0	7.41	4.0	25.40	1.508	0.27	8.42E-09	ND.1	T.1	
		TP-4	1.60 - 1.80	50.71	16.50	2.654	87	48	39	0.0	4.0	9.9	86.1	MH & CH	46.0	11.46	16.86	115.0	14.04	10.0	31.97	1.445	0.35	1.65E-07	ND.1	T.1	
		TP-5	1.60 - 1.80	52.60	15.20	2.667	98	56	42	0.0	3.8	2.6	93.5	MH & CH	41.1	12.22	17.32	75.0	5.34	8.0	27.20	1.294	0.18	5.55E-09	ND.1	T.1	
B	(2009)	TP-6	1.80 - 2.00	46.22	17.20	2.726	100	51	48	0.0	3.0	6.5	90.5	MH & CH	43.5	11.85	17.16	72.0	10.20	11.0	26.10	1.413	0.22	2.11E-08	ND.1	T.1	
TP-1		0.40 - 2.00	44.63	16.70	2.651	96	39	57	0.0	3.8	19.6	76.6	CH	42.0	12.12	17.21	97.0	3.4	11.0	27.6	1.359	0.26	1.75E-09	ND.1	T.1		
TP-2		0.50 - 1.50	52.94	17.00	2.634	96	43	53	0.0	1.8	15.7	82.5	MH	42.2	12.09	17.19	38.0	18.9	4.0	24.8	1.325	0.24	1.08E-09	ND.1	T.1		
TP-3		0.40 - 2.00	43.69	16.60	2.647	93	40	53	0.0	3.4	20.0	76.6	MH	43.1	11.97	17.13	61.7	5.0	12.0	26.3	1.329	0.30	1.48E-09	ND.1	T.1		
TP-4		0.50 - 1.50	57.98	16.10	2.635	100	42	58	0.0	2.1	15.0	82.9	MH	41.9	12.10	17.17	129.0	6.6	8.0	26.8	1.351	0.32	1.44E-09	ND.1	T.1		
C	(2009)	TP-5	0.50 - 1.50	51.25	17.00	2.639	100	48	52	0.0	2.6	13.1	84.3	MH	42.7	12.01	17.14	127.0	11.1	8.0	24.8	1.353	0.36	1.52E-09	ND.1	T.1	
TP-6		0.50 - 1.50	37.34	18.10	2.652	94	45	49	0.0	2.9	14.3	82.8	MH	42.1	12.11	17.21	160.0	12.0	25.0	26.5	1.324	0.37	1.31E-09	ND.1	T.1		
TP-7		0.50 - 1.50	41.71	17.00	2.680	75	35	40	0.0	7.9	29.3	62.8	MH	34.7	13.61	18.33	92.0	5.4	8.0	28.6	1.151	0.31	1.32E-09	ND.1	T.1		
TP-8		0.50 - 1.50	33.62	16.00	2.649	83	37	46	0.0	5.9	25.9	68.2	CH	36.2	13.16	17.92	140.0	1.8	8.0	27.4	1.125	0.32	1.80E-09	ND.1	T.1		
TP-9		0.50 - 1.50	42.88	17.20	2.692	68	32	36	0.0	10.3	32.2	57.5	CH	33.6	13.82	18.46	65.0	7.6	7.0	27.8	1.109	0.32	1.32E-09	ND.1	T.1		
TP-10		0.50 - 1.50	41.32	16.70	2.654	69	32	37	0.4	10.3	28.2	61.1	CH	32.5	13.79	18.27	90.0	7.4	16.0	27.2	1.175	0.41	2.18E-09	ND.1	T.1		
TP-11		0.50 - 1.50	42.46	16.80	2.628	81	37	44	0.5	10.8	31.7	57.0	MH	37.8	12.25	16.88	96.0	9.8	14.0	27.1	1.234	0.30	1.78E-09	ND.1	T.1		
TP-12		0.50 - 1.50	46.88	15.30	2.628	83	38	45	0.7	10.7	30.2	58.4	MH	40.1	12.26	17.18	56.0	9.6	15.0	28.5	1.272	0.32	1.88E-09	ND.1	T.1		
TP-13		0.50 - 1.50	45.55	16.30	2.629	80	40	40	0.0	11.7	29.8	58.5	MH	39.1	12.17	16.93	87.0	8.9	23.0	26.5	1.280	0.33	1.90E-09	ND.1	T.1		
TP-14		0.50 - 1.50	49.75	15.60	2.625	87	45	42	0.0	4.3	39.9	55.8	MH	42.4	11.93	16.99	102.0	7.7	27.0	28.0	1.265	0.37	4.58E-09	ND.1	T.1		
TP-15	0.50 - 1.50	45.02	14.80	1.657	92	46	46	0.0	4.6	38.7	56.7	MH	43.2	11.95	17.11	117.0	6.1	30.0	26.6	1.338	0.37	3.22E-09	ND.1	T.1			

Catatan : Triaksial UU dan CU_{BP}
Konsolidasi
Koefisien Permeabilitas

Pengujian dilakukan terhadap contoh tanah yang dipadatkan pada 95 % MDD (Wet Side)

Sumber : laporan Penyelidikan Geologi dan Finalisasi Desain Bendungan Sindangheula(PT Panca Guna Utama

vulkanik berwarna hitam, bergradasi baik dan berlapis dengan volume potensial $\geq 100.000 \text{ m}^3$.

Contoh material pasir telah diambil masing-masing sebanyak 1 (satu) contoh dan telah diadakan pengujian laboratorium dengan hasil sebagai berikut (lihat Tabel 9). Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa material pasir Pondok Kahuruk berupa pasir vulkanik, bergradasi seragam dan sangat ringan ($\gamma_{min} = 1,29 \text{ ton/m}^3$ dan $\gamma_{max} = 1,57 \text{ ton/m}^3$). Dari data tersebut maka material pasir ini tidak dapat dipakai untuk zona filter maupun agregat halus beton.

2) Material Pasir Sungai Ciujung

Lokasi quarry pasir yang berikutnya adalah diambil dari Sungai Ciujung yang berjarak $\geq 60 \text{ km}$, jenis pasir sungai dengan kadar lumpur tinggi, volume potensial $\geq 250.000 \text{ m}^3$. Dari data hasil pengujian material pasir S. Ciujung didapat bahwa kadar lumpur yang tinggi ($9,7 \% > 5 \%$) sehingga harus dilakukan pencucian. Disamping itu jarak angkutnya sangat jauh ($\geq 60 \text{ km}$) sehingga tidak ekonomis. Oleh karena itu untuk zona filter dan agregat halus beton disarankan memakai material pasir hasil pemecahan batu dari quarry andesit G. Cisolak. Keuntungan pemakaian material pasir yang diperoleh dari hasil penghancuran batu memakai mesin pemecah batu (*stone crusher*) adalah gradasi material untuk zona filter dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

3 Material Batu

Material batu yang telah diselidiki terletak di 2 lokasi, yaitu quarry Desa Pondok Kahuruk dan Quarry di Gunung Salak. Penyelidikan ini berpedoman pada peta Topografi pada Peta Topografi Bakosurtanal skala 1 : 25.000 dan Peta Geologi Lembar Serang skala 1 : 250.000 (P₃G Bandung, 1981).

1) Quarry A, Pondok Kahuruk

Lokasi quarry secara administratif terletak di Desa Pondok Kahuruk Kecamatan Ciomas, Kabupaten Serang. Jarak lokasi quarry dari calon bendungan Sindangheula $\pm 12 \text{ km}$ kearah Barat Daya dan dapat dicapai dengan mobil melalui jalan kabupaten beraspal baik. Material timbunan batu ini berupa kaki bukit yang membentuk lereng landai sampai tegak. Telah dilaksanakan pemboran inti di 3 titik. yaitu BQ.-1 (30 m), BQ-2 (15 m) dan BQ-3 (50 m). Adapun hasil pemboran inti tersebut sebagai berikut :

- a. Quarry terdiri dari bongkah-bongkah batu Andesit, pasir Vulkanik urai dan batu Andesit pecah-pecah dengan *Rock Quality Designation* (RQD) < 50 , bahkan sebagian besar mempunyai RQD < 30 .
- b. Jenis batuan berupa lava andesit yang miring ke arah jalan raya. Di bawah lapisan andesit tersebut dijumpai pasir vulkanik bergradasi seragam dan bersifat urai.

Berdasarkan kondisi lapangan tersebut, apabila quarry ini dieksploitasi, maka akan menimbulkan masalah lingkungan yang sangat berat yaitu :

- a. Apabila lava andesit dimanfaatkan, maka pasir vulkanik akan tersingkap pada posisi topografi yang miring sehingga sangat mudah tererosi dan akan terjadi longsor pasir (*sand run*). Longsor ini akan memotong jalur jalan raya serta membahayakan pemukiman dibawahnya.
- b. Mata air akan hilang atau meresap ke dalam formasi pasir vulkanik dan memicu terjadinya longsor.

Tabel 9 Ringkasan Hasil Pengujian Laboratorium Material Pasir, Bendungan Sindangheula, Kab. Serang

No.	Contoh	Kadar air %	Kadar lumpur %	Berat jenis								Relative Density	
				kering		SSD		semu		absorpsi		min	maks
				halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus %	kasar %		
1	Pasir sungai Ciujung	10,41	9,7	2,28	-	2,38	-	2,54	-	4,41	-	1,17	1,85
2	Pasir Pondok Kahuruk	7,82	5,8	2,28	-	2,38	-	2,56	-	5,22	-	1,29	1,57

Sumber : laporan Penyelidikan Geologi dan Finalisasi Desain Bendungan Sindangheula (PT Panca Guna Utama)

2) Quarry B, Gunung Cisalak

Dari hasil survai dan pengukuran topografi seluas 25 ha, Volume Potensial > 1.200.000 m³, tata guna lahan berupa kebun campuran dan semak belukar, status lahan milik penduduk setempat. Pada area tersebut telah dilakukan pemboran inti sebanyak 5 lokasi sebagai berikut :

Dari hasil pemboran inti tersebut didapat bahwa jenis batuan pada quarry Gunung Cisalak berupa batuan Andesit Basaltik dan Breksi Vulkanik. Batuan Andesit Basaltik menempati sebagian besar dari quarry Gunung Cisalak. Batuan ini berwarna abu-abu kehitaman, kompak, sangat keras. Pada jenis Batuan Breksi Vulkanik berwarna abu-abu dan abu-abu kemerahan, terdiri dari fragmen-fragmen andesit tertanam di dalam masa dasar tufa, kemas terbuka, kompak, kurang keras. Dari penampang geologi tersebut diketahui bahwa quarry G. Cisalak dibentuk oleh lava andesit basaltik. dengan sisipan-sisipan batuan breksi vulkanik yang penyebarannya relatif horizontal. Ketebalan sisipan-sisipan tersebut 2,5 – 3,5 m.

Dari beberapa beberapa contoh inti bor dan bongkah batu telah dilaksanakan pengujian di

laboratorium mekanika batuan di Puslitbang Sumber Daya Air di Bandung. Pengujian tersebut memberikan hasil sebagaimana terlihat pada Tabel 11. Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa batuan Andesit Basaltik memenuhi syarat sebagai material urugan bendungan dan agregat

4 Tipe Bendungan Dan Zonasi Material

Berdasarkan ketersediaan material tersebut dan hasil pengujian laboratorium, maka tipe bendungan yang sesuai adalah bendungan tipe urugan batu dengan inti kedap air tegak. Selanjutnya telah dibuat zonasi tubuh bendungan dengan mengacu pada kriteria filter USBR 1987 dan US Army. Adapun zona gradasi material ditampilkan pada **Gambar 1**.

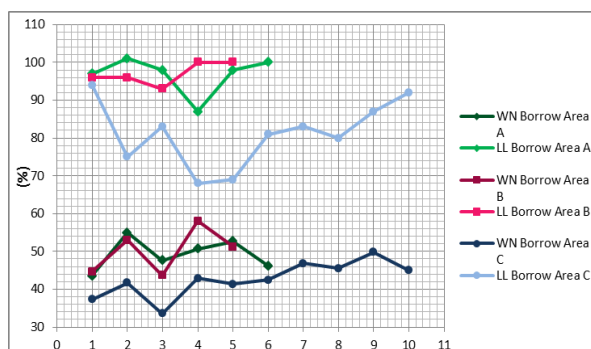
5 Korelasi Parameter Tanah

Dari hasil pengujian dilaboratorium didapat korelasi antara kondisi kadar air asli (γ_n), kadar air pada kondisi OMC, batas cair (LL), batas plastis dan dan plastis indeks seperti yang dapat dilihat pada gambar 2 sampai dengan gambar 6.

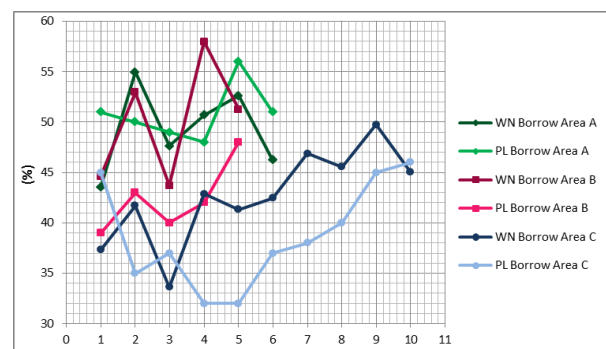
Tabel 11 Ringkasan Hasil Pengujian Quarry Batu G. Cisalak, Bendungan Sindangheula

No	Sample	natural density g/cm ³	natural water content %	saturat density g/cm ³	absorp/st water %	dry density g/cm ³	deg of saturated %	porosity n %	ap spec gravity -	True spec gravity -	void ratio -	unconfined compression strength oc kg/cm ³	Los Angeles Abrasion keausan %	Soundness
1	BQS1	2,703	1,31	2,708	1,50	2,668	87,50	4,00	2.6675	2.7786	0.042	1120,677	18.66	1.55
2	BQS2 (6.00-7.00)	2,504	2,81	2,547	4,56	2,436	61,54	11,11	2,4359	2,7404	0,125	275,67	20,14	3,45
3	BQS2 (30.00-31.00)	2,660	0,99	2,668	1,29	2,634	76,92	3,40	2,6335	2,7263	0,035	727,47		
4	BQS3 (5.00-6.00)	2,648	1,05	2,657	1,40	2,621	75,00	3,67	2,6208	2,7206	0,038	249,62	20,50	5,66
5	BQS3 (31.00-32.00)	2,568	0,78	2,581	1,30	2,548	60,00	3,37	2,6675	2,6357	0,034	232,75		

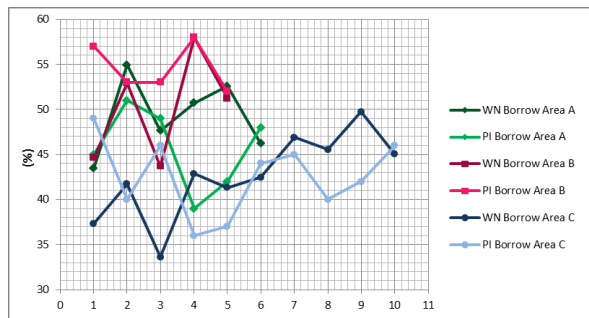
Sumber : laporan Penyelidikan Geologi dan Finalisasi Desain Bendungan Sindangheula(PT Panca Guna Utama)



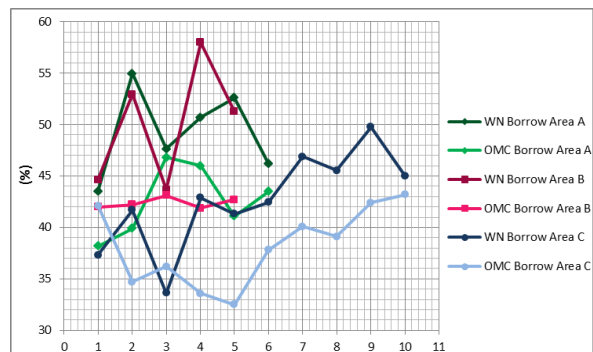
Gambar 2 Grafik Hubungan WN Dengan LL



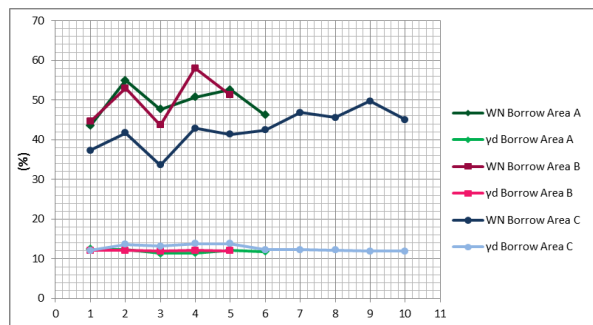
Gambar 3 Grafik Hubungan WN Dengan PL



Gambar 4 Grafik Hubungan WN Dengan PI



Gambar 5 Grafik Hubungan WN Dengan OMC



Gambar 6 Grafik Hubungan WN Dengan γd

Analisa dan pembahasan gambar 2

Dari gambar 2 (grafik hubungan antara kadar air asli (wn) dengan batas cair (LL), terlihat bahwa kondisi tanah untuk ke 3 lokasi baik borrow area A,B maupun C mempunyai kadar air asli (wn) jauh lebih kecil dari batas cairnya, ini berarti bahwa kondisi tanah termasuk semi solid (cenderung agak kering) sehingga apabila dipadatkan (agak sulit), memerlukan metode pembasahan

Analisa dan pembahasan gambar 3

Dari gambar 3 (grafik hubungan antara kadar air asli (wn) dengan plastis limit (PL), terlihat bahwa kondisi tanah pada borrow area A, pada lokasi tertentu sample tanah berupa gumpalan -gumpalan terlihat dari hasil uji atterberg nilainya tidak menunjukkan kecenderungan nilai yang seragam (naik turun),

sebagian nilai wn mendekati PL yang mempunyai arti kondisi tanah semi solid (agak kering. Untuk lokasi baik borrow area B, maupun C kadar air asli (wn) relative diatas nilai plastis limit, berarti bahwa kondisi tanah termasuk plastis.

Analisa dan pembahasan gambar 4

Dari gambar 4 (grafik hubungan antara kadar air asli (wn) dengan plastis Indeks (PI), terlihat bahwa kondisi tanah pada borrow area A, B maupun C mempunyai nilai plastisitas Indeks (PI)>40%. Bila nilai Plastisitas tanah >40 %, maka proses pemadatan tanah tidak mudah untuk dikerjakan. Batasan nilai plaititas yang baik untuk timbunan berkisar antara 15<PI≤30.

Analisa dan pembahasan gambar 5

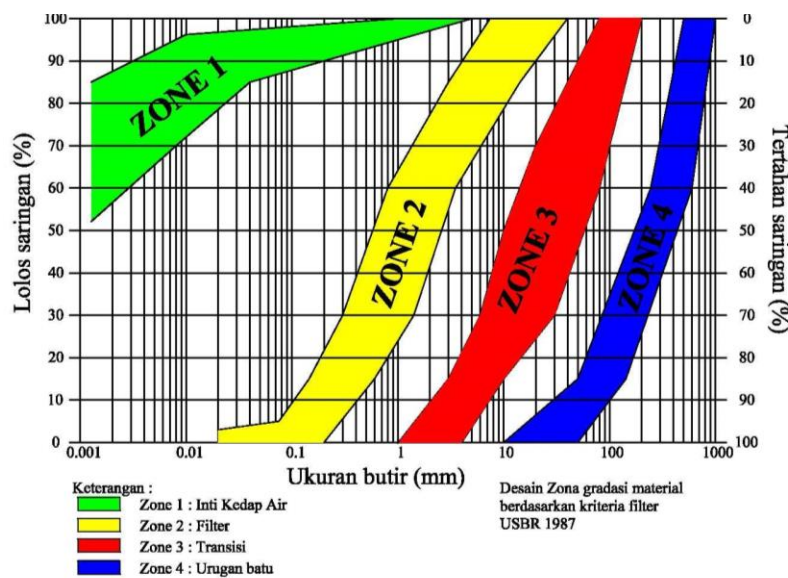
Dari gambar grafik 5 (grafik hubungan antara kadar air asli dengan kadar air optimum dari hasil uji pemadatan (OMC), diketahui bahwa bahwa pada borrow area A, B maupun C, kondisi tanah cenderung basah, wn >OMC+2, hal ini mengidentifikasi bahwa tanah bila $W_n \geq OMC$ maka kondisi tanah basah sehingga harus ada proses pengeringan dilapangan. Bila tidak mungkin dikeringkan parameter desain harus menggunakan nilai γ pada W_n tersebut, dari kurva pemadatan).

Analisa dan pembahasan gambar 6

Dari gambar grafik 6 (grafik hubungan antara kadar air asli dengan berat isi kering diketahui bahwa bahwa pada borrow area A ,B maupun C, kondisi tanah cenderung basah ,wn >OMC+2, hal ini mengidentifikasi bahwa tanah bila $wn \geq OMC$ maka kondisi tanah basah sehingga harus ada proses pengeringan dilapangan. Bila tidak mungkin dikeringkan parameter desain harus menggunakan nilai γ pada wn tersebut, (dari kurva pemadatan).

Selain dari kondisi kadar airnya kriteria lain yang harus diperhatikan adalah gradasi material. Salah satu kriteria yang harus masuk standard adalah kriteria gradasi material dari USBR. Bila gradasi terlalu halus (prosentase lempung tinggi), berarti gradasi berada diluar standard USBR, untuk memperbaikinya harus dicampur pasir (dengan prosentase tertentu).

Dari hasil uji analisa saringan diketahui bahwa material pada zone1 (inti kedap air), maupun zona 2 (filter) berada diluar daerah zona yang dipersyaratkan USBR (gambar grafik kriteria gradasi menurut USBR). Hal ini bisa diatasi dengan material campuran (dengan pasir) sehingga material bisa memenuhi sesuai standard. Untuk zona 3 dan zona 4 gradasi harus dipenuhi untuk material rockfill dengan cara mengatur pola peledakan dilokasi quarry batu.



(sumber : Laporan Penyelidikan Geologi dan Finalisasi Desain bendungan Sindangheula)

Gambar 7 Zona Gradasi Material Bendungan Sindangheula

KESIMPULAN

Berdasarkan ketersediaan material konstruksi dalam radius 15 km dari calon Bendungan Sindangheula serta memperhatikan kendala lingkungan, maka material yang disarankan untuk tubuh bendungan sebagai berikut :

Material tanah untuk inti zona kedap air, harus diperbaiki gradasinya (terlalu halus sehingga harus dicampur dengan material yang cukup kasar, dengan demikian akan menaikkan parameter kuat gesernya (c dan ϕ).

Berdasarkan hasil plot grafik dari uji saringan diketahui bahwa material pada zone memerlukan perbaikan gradasi (pencampuran) sehingga dapat menaikkan parameter kuat geser yang diperlukan dalam perhitungan analisa stabilitas .

Material batu untuk zona transisi dan zona urugan batu , mengambil dari quarry G. Cisalak.

Material untuk agregat beton mengambil dari quarry G. Cisalak (hasil penghancuran batu memakai *stone crusher*).

Berdasarkan ketersediaan material konstruksi tersebut, maka tipe bendungan yang sesuai adalah bendungan tipe urugan batu dengan inti kedap air tegak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpon Sirait, (Maranatha), Karakteristik Bahan Timbunan Tanah Pada Lokasi Rencana Bendungan Danau Tua, Rote Timor dan Bendungan Haekrit, Atambua Timor
- Bakosurtanal, 1989. Peta Rupa Bumi, Skala 1 : 25.000
- Bakosurtanal, 1989 "Peta Geologi Lembar Serang, Skala 1 : 100.000 (P3G Bandung, 1981) dan Peta Rupa Bumi, Skala 1 : 25.000"
- Indra Mustomo, Efendi Yasin, Andi Patriadi, dan Ria Asih Aryani Soemitro, Trihanyndio Rendy Satrya. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 E-mail: ria@ce.its.ac.id, rendy_star@ce.its.ac.id
- Studi Perubahan Karakteristik, Mekanik dan Dinamik Tanah Terhadap Siklus Pembasahan dan Pengerinan Pada Tanah Permukaan Lereng di Ngantang-Malang. (Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, (2013) 1-7)
- P3G Bandung, (1981), Peta Geologi Lembar Serang, Skala 1 : 100.000
- P3G Bandung, 1981, "Peta Topografi pada Peta Topografi Bakosurtanal skala 1 : 25.000 dan Peta Geologi Lembar Serang skala 1 : 250.000"
- PT Panca Guna Utama (2010), Penyelidikan Geologi dan Finalisasi Desain bendungan Sindangheula

- PT.Panca Guna Duta, Penyelidikan, 2009, Penyelidikan Geologi dan Finalisasi Desain Bendungan Sindangheula.
- PT-03, SK DJ Pengairan No. 185/KPTSA/A/1986."Metode pelaksanaan pekerjaan test pit "
- Puslitbang Sumber Daya Air, Pedoman Penyelidikan Geoteknik Untuk Bangunan Air, volume 3, Puslitbang Sumber Daya Air (2005), Interpretasi Hasil Uji dan Penyusunan Laporan Penyelidikan Geoteknik, Pd T-05-2005-A.
- Sujono,1981, Bendungan Type Urugan