

**PERENCANAAN LETAK AS BENDUNG KANJIRO DAERAH
IRIGASI BONE-BONE KABUPATEN LUWU UTARA
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Busthan Azikin ¹⁾

ABSTRACT

Area of research in Kanjiro, Lemahabang District of Bone-Bone, North Luwu regency province of South Sulawesi. Consist research area in peneplains morphological unit, compile of sandstone, siltstone and alluvial. Surface geological survey to indicate area the slightly – moderately weathered to area compile of sandstone and siltstone, highly weathered to area compile of silty sand and completely weathered to area compile of sandy clay. Core is output the rotary drilling to four hole area research indicate to ground compile is : silty sand, sandy gravel, silty clay, sandstone and Siltstone. Output is trandart penetration test, permeability test and tets pit to indicate area research potential the develop dam and as dam to location hole drill DH-2, DH-3 and DH-4 is the long poudation 40 m, with 5 m, high 5 m and to drown poudation 5 m.

Keywords : *As dam, poudation, rotary drilling, tets pit.*

¹⁾ Dosen Tetap pada Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik UNHAS

PENDAHULUAN

Kondisi bendung Kanjiro yang masih merupakan bendung desa dengan konstruksi bronjong kawat yang diisi batu sebagai penahan air, sehingga mengakibatkan debit air yang tertahan relatif kecil dibandingkan jumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan pengairan sawah dan kebun rakyat di daerah tersebut. Disamping karena debit air yang tertampung kecil, juga pembagian dan distribusi air untuk memenuhi kebutuhan masyarakat melalui pintu saluran sangat susah dilakukan karena tinggi air tidak standar lagi dan endapan-endapan sedimen yang terbawa air sungai sangat besar dan menghambat pergerakan air di saluran tersebut.

Potensi sungai Kanjiro yang aliran air sungainya bersifat permanen serta mempunyai debit dan cadangan air yang cukup besar, disamping kondisi topografi dan jenis batuan yang di lokasi ini mendukung untuk dibangun suatu bangunan bendung permanen untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

Karena potensi dan manfaat yang diharapkan dari bendung ini, menyebabkan pemerintah daerah mengalokasikan dana pengairan desa untuk membuat perencanaan design bendung permanen di daerah ini sebagai realisasi suplesi pengembangan Daerah Irigasi Bone-Bone. Untuk itu, dilakukan penelitian mengenai perencanaan letak as bendung Kanjiro Bone-Bone.

METODE PENELITIAN

Dalam pelaksanaan penelitian mengenai perencanaan letak as bendung di daerah ini, dilakukan tahapan sebagai berikut :

1. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan ini diawali dengan kegiatan koordinasi dengan instansi terkait serta pengumpulan data-data sekunder yang dapat mendukung pelaksanaan penelitian, juga pengurusan surat izin. Disamping itu, mempersiapkan peralatan dan bahan-bahan yang akan digunakan dan dibutuhkan di lapangan.

2. Pemetaan Geologi Permukaan

Kegiatan ini merupakan pekerjaan lapangan yang bertujuan untuk mengetahui penyebaran dan bentuk satuan batuan secara lateral yang terdapat di lokasi ini. Peralatan yang digunakan adalah palu/kompas geologi, peta dasar dengan skala 1 : 2000, GPS, Loupe dan HCl.

3. Penyelidikan geologi teknik

Kegiatan ini merupakan rangkaian kegiatan lapangan yang sifatnya lebih spesifik dan detail, meliputi kegiatan pemboran inti (*core*), uji tembus baku (SPT/ *Standart Penetration Tets*), dan samur uji (*test pit*) yang kesemuanya bertujuan untuk melihat nilai daya dukung tanah dan batuan di daerah tersebut.

perbukitan dan pedataran. Daerah pegunungan menempati bagian utara yang terdapat deretan pegunungan Tamboke, memanjang dari barat – timur yang dibentuk oleh kompleks Pompangeo. Daerah perbukitan berada di bagian baratdaya – timurlaut dengan ketinggian 200 – 700 meter yang disusun oleh kompleks Pompangeo dari Formasi Bone-Bone. Daerah Pedataran berada di bagian barat – tenggara, melampar dari Patila, Masamba, Salolemo, Bungadidi sampa Bone-Bone yang terbentuk dari endapan aluvium.

Satuan batuan yang menyusun daerah ini secara regional dari batuan yang berumur muda ke batuan tua, adalah :

- Qal, yaitu aluvium yang terdiri dari lumpur, lempung, pasir, kerikil sampai bongkah
- QTpmv, yaitu batuan gunungapi Masamba yang terdiri dari breksi vulkanik dan lava basalt.
- Tpkg, yaitu Granit Kambuno yang terdiri dari granit, granodiorit dan sekis
- Tmpb, yaitu Formasi Bone-Bone yang terdiri dari perselingan batupasir, konglomerat, napal dan lempung tufaan.
- MTmn, yaitu batugamping meta yang terdiri dari marmer dan batugamping
- Mtmp yaitu kompleks Pompangeo yang terdiri dari sekis, genes, marmer, serpentin, kuarsit, batusabak, filit dan breksi.
- MTsp yaitu batuan serpentinit yang terdiri dari serpentin yang bersifat pikrit.

Secara regional, kondisi struktur geologi yang mengontrol daerah ini berupa sesar naik yang berada pada antara bukit Ganrang dengan gunung Tamboke yang berarah tenggara – baratdaya dan memotong sungai Bone-Bone di bagian hulu. Untuk memperkirakan besarnya gaya-gaya yang dipikul oleh suatu bangunan teknik selama masa penggunaannya, maka dilakukan studi resiko kegempaan. Faktor beban akibat gempa yang digunakan dalam perencanaan bangunan teknik diberikan dalam bentuk Peta Ioseima yang diterbitkan oleh DPMA pada tahun 1981.

Dengan menggunakan rumus Kawashumi, percepatan gempa rencana dapat diketahui, yaitu :

$$a_d = n (a_c \times z)^m \text{ maka } E = a_d / g \text{ dimana :}$$

- a_d = percepatan gempa rencana cm/dt^2
- n, m = koefisien jenis tanah / batuan
- a_c = percepatan dasar gempa cm/dt^2
- z = Koefisien zona seismisitas
- E = Koefisien gempa
- G = percepatan gempa rencana cm/dt^2

Dari peta isoseima daerah Bendung Kanjiro berada pada daerah percepatan gempa maksimum dengan harga 0,08 g atau 78,4 gal. Dari Peta Zona Seismik untuk perencanaan bangunan air tahan gempa (DPMA, 1981), maka nilai percepatan gempa rencana per dua puluh tahun = 120,83 cm/dt^2 dengan nilai koefisien gempa = 0,1233 cm/dt^2 .

2. GEOLOGI DAERAH KANJIRO

Hasil pengamatan lapangan dan interpretasi peta topografi, keadaan sungai dan ketinggian lokasi dari muka laut, maka morfologi daerah Kanjiro dapat dibagi dalam 3 bagian, yaitu :

- Satuan morfologi perbukitan terjal batupasir yang menempati daerah bagian baratdaya – timurlaut dengan ketinggian 150 – 200 meter dan kemiringan lereng $45^\circ - 70^\circ$ yang tersusun oleh batupasir bersisipan batulanau. Tingkat pelapukan sedang – kuat dan menempati hampir 30% luas wilayah penelitian.
- Satuan morfologi perbukitan landai batulanau yang menempati daerah bagian barat dengan ketinggian 50 – 150 meter dari muka laut dan kemiringan lereng $10^\circ - 40^\circ$ yang tersusun oleh batulanau bersisipan batulempung. Tingkat pelapukan kuat – lapuk sempurna dan menempati sekitar 25% lokasi penelitian.
- Satuan morfologi pedataran alluvial yang menempati daerah bagian selatan dengan ketinggian 45 – 50 meter dari muka laut dan hampir datar yang tersusun oleh satuan alluvial dari endapan sungai berupa bongkah, kerikil, pasir, lempung sampai lumpur dan menempati sekitar 45% luas lokasi penelitian.

Hasil pengamatan dipermukaan tanah dan hasil pemboran serta sumur uji, memperlihatkan batuan penyusun daerah ini dari susunan batuan dari yang berumur tua ke yang muda adalah :

- Satuan batupasir, dijumpai tersingkap di daerah morfologi perbukitan terjal berwarna coklat kekuningan, lapuk sedang – kuat, kedudukan batuan N 98°E – N 121°E dengan kemiringan 10° – 12° dan batupasir ini berselingan dengan batulanau.
- Satuan Batulanau, dijumpai tersingkap di daerah morfologi perbukitan landai, warna abu-abu, lapuk kuat, daya ikat lemah.
- Alluvial sungai, dijumpai sepanjang aliran sungai Kanjiro berupa material berukuran bongkah – pasir sedangkan material yang berukuran lempung – lumpur dijumpai di dataran banjir.

Kondisi struktur geologi susah untuk diamati, tetapi kondisi kedudukan batuan dan struktur *boudinage* menunjukkan adanya lipatan dan patahan minor yang berkembang di daerah ini.

3. KONDISI TANAH DAN BATUAN

Berdasarkan tingkat pelapukan batuan, material penyusun daerah Kanjiro dapat di bagi tiga, yaitu :

- Daerah yang mengalami pelapukan rendah / sedang (SW/MW), yaitu lokasi yang tersusun oleh litologi batupasir dan batulanau dengan warna soil coklat kemerahan – coklat kekuningan.
- Daerah yang mengalami pelapukan tinggi (HW), yaitu lokasi yang tersusun oleh material pasir lanauan dengan warna soil coklat kekuningan – abu-abu kecoklatan.
- Daerah yang mengalami lapuk sempurna (CW), yaitu lokasi yang tersusun oleh material pasir lanauan – lanau lempungan dengan warna soil abu-abu.

Berdasarkan ukuran material dan kondisi agregat penyusun tanah dan batuan, maka materialnya dibagi menjadi 6, yaitu :

- Material lanau – lempung (LL), penyebarannya 15%, ketebalan 0,35 – 2,5 m, hasil pelapukan sempurna batulanau atau batupasir, sebagian berupa hasil sedimentasi sungai yaitu sekis atau batupasir dari Formasi Bone-Bone. Material hasil

sedimentasi nilai palstisitasnya rendah sedangkan material dari soil hasil pelapukan mempunyai nilai plastisitas sedang – tinggi.

- Material pasir – lanau (PL), penyebarannya 32%, ketebalan 0,15 – 0,9 m, hasil pelapukan dari batulanau atau batupasir, sebagian berupa hasil sedimentasi sungai Kanjiro.
- Material Kerikil (K), penyebarannya 10%, ketebalan antara 0,25–0,55 m, hasil transportasi sungai, materialnya didominasi oleh batuan metamorf (genes dan kuarsit) dan sebagian merupakan batuan beku (diorit dan granit) yang berukuran antara 0,5 – 4 cm.
- Material kerakal – berangkal (KB), penyebarannya 3% umumnya berada di sungai dan pinggir sungai, ketebalan 0,20 – 0,85 m, merupakan hasil transportasi sungai dimana didominasi oleh genes dan kuarsit sebagian berupa batuan beku diorit dan granit yang berukuran antara 5 – 24 cm.
- Batulanau (BL), penyebarannya 20%, merupakan bukit landai, kemiringan lereng < 60 % dan pelapukan sedang – tinggi.
- Batupasir (BP), penyebarannya 20%, merupakan bukit terjal, kemiringan lereng > 60 % dan pelapukan rendah – sedang.

4. PEMBORAN INTI (CORE)

Pemboran inti (*core*) dilakukan sebanyak 4 titik bor dengan kedalaman antara 10 – 20 meter, hasilnya adalah :

A. Titik Pemboran DH-1

Titik bor ini berada di bagian hilir sungai Kanjiro, berjarak 320 meter dari pintu saluran air (*exiting*) bendung Kanjiro ke arah selatan saat ini. Hasil *core* dari pemboran ini adalah :

- Kedalaman 0,0 – 1,9 m : pasir, warna abu-abu kecoklatan – abu-abu gelap, relatif *density very loose*, kelembaban jenuh, tersusun oleh pasir 70%, material halus 30%, bentuk butir *sub rounded – well rounded*, ukuran maksimum butir pasir, gradasi jelek, urai dan mengandung akar tumbuhan.
- Kedalaman 1,9 – 2,0 m : pasir, warna abu-abu, tekstur klastik, bentuk butir *sub rounded - rounded*, pasir 67%, material halus

33%, sortasi sedang, komposisi material kuarsa, feldspar, muskovite, gradasi jelek dan urai.

- Kedalaman 2,0 – 6,4 m : kerikil pasiran, warna abu-abu – kehitaman, tekstur klastik, bentuk butir *angular – sub rounded*, kerikil 50%, pasir 35%, material halus 15%, diameter maksimum 5 cm, komposisi sekis, silika dan kuarsa, gradasi baik
- Kedalaman 6,4 – 6,9 m : lanau kerikilan, warna abu-abu kekuningan, tekstur klastik, bentuk *sub rounded – rounded*, kerikil 10%, pasir 20%, material halus 70%, komposisi material muskovite, sekis dan feldspar, dengan sortasi sedang.
- Kedalaman 6,9 – 10 m : lanau lempungan, warna coklat kekuningan, jenuh dan plastisitas rendah.

B. Titik Pemboran DH-2

Titik bor berada di pinggir sebelah kanan sungai Kanjiro, berjarak 120 meter dari pintu saluran air ke arah selatan, 5 meter dari pinggir sebelah kiri sungai. Hasil *core* pemboran adalah :

- Kedalaman 0 – 0,1 m : pasir lanauan, warna coklat kemerahan, tekstur klastik, bentuk butir *sub rounded*, tersusun oleh pasir halus 60%, material halus 40%, sangat urai.
- Kedalaman 0,1 – 0,6 m : pasir, warna coklat kemerahan, tekstur klastik, bentuk butir *sub rounded – rounded*, kerikil 1%, pasir 69%, material halus 30%, gradasi jelek dan lepas.
- Kedalaman 0,6 – 1,0 m : pasir lanauan, warna coklat kemerahan, tekstur klastik, bentuk butir *sub rounded*, pasir 60%, material halus 40%.
- Kedalaman 1,0 – 4,5 m : kerikil pasiran, warna abu-abu, tekstur klastik, bentuk butir *sub angular – rounded*, kerikil 45%, pasir 30%, material halus 25%, gradasi sedang.
- Kedalaman 4,5 – 6,8 m : lanau lempungan, warna abu-abu kekuningan, plastisitas rendah, kondisi lunak – agak kenyal.
- Kedalaman 6,8 – 12,0 m : pasir, warna kuning kecoklatan – abu-abu kekuningan, tekstur klastik, bentuk *rounded – well rounded*, pasir 80%, material halus 20%, komposisi material sekis, feldspar, kuarsa, gradasi jelek, urai sampai agak padat.
- Kedalaman 12,6 – 14,6 m : batupasir, warna kuning kecoklatan – abu-abu, tekstur klastik, bentuk *sub rounded – rounded*, pasir

halus 80%, material halus 20%, berupa sekis, feldspar, dengan kondisi padat sampai sangat padat.

- Kedalaman 14,6 – 15 m : batulanau, warna abu-abu kehitaman dan mengandung sedikit lempung, kondisi lapuk sempurna.

C. Titik Pemboran DH-3

Titik bor berada di tengah sungai Kanjiro, berjarak 13 m dari pinggir sungai sebelah kanan dan 120 m dari pintu saluran air ke arah selatan. Hasil *core* pemboran adalah :

- Kedalaman 0 – 0,2 m : pasir lanauan, warna coklat kemerahan, tekstur klastik, bentuk butir *rounded*, tersusun oleh pasir halus 65%, material halus 35%, komposisi mika, sekis, kondisi urai.
- Kedalaman 0,2 – 5,9 m : kerikil pasiran, warna abu-abu, tekstur klastik, bentuk butir *sub rounded - rounded*, kerikil 50%, pasir 35%, material halus 15%, gradasi baik, material sekis, genes, silika dengan diameter maksimum 8 cm.
- Kedalaman 5,9 – 7,0 m : lanau lempungan, warna kuning kecoklatan, jenuh, plastisitas rendah, elastisitas lunak - kenyal.
- Kedalaman 7,0 – 13,7 m : pasir, warna coklat kekuningan, tekstur klastik, bentuk butir *sub rounded - rounded*, pasir 70%, material halus 30%, mika, sekis, feldspar, padat – agak padat.
- Kedalaman 13,7 – 20 m : batulanau, warna abu-abu kecoklatan, mengandung lempung sekitar 10%, plastisitas rendah, kondisi hard soil yang mengalami pelapukan sempurna.

D. Titik Pemboran DH-4

Titik bor berada di pinggir sebelah kiri sungai Kanjiro, berjarak 120 meter dari pintu saluran air ke arah selatan, 4 meter dari pinggir sebelah kanan sungai. Hasil *core* pemboran adalah :

- Kedalaman 0–0,4 m : pasir lanauan, warna abu-abu kecoklatan, tekstur klastik, bentuk butir *sub rounded*, tersusun oleh pasir halus 60%, material halus 40%, mika, sekis, urai.
- Kedalaman 0,4 – 10,0 m : kerikil pasiran, warna abu-abu kecoklatan, tekstur klastik, bentuk butir *sub angular - rounded*, kerikil 50%, pasir 35%, material halus 15%, gradasi baik, material sekis, genes, feldspar, kuarsa, diameter maksimum 10 cm dengan kondisi lepas dan urai.

- Kedalaman 10,0 – 12,2 m : lanau lempungan, warna kuning kecoklatan, jenuh, plastisitas rendah, elastisitas lunak.
- Kedalaman 12,2 – 15 m : batupasir, warna abu-abu kecoklatan, tekstur klastik, bentuk butir *sub rounded – well rounded*, pasir 70%, material halus 30%, komposisi sekis, kuarsa dan feldspar, kondisi padat – sangat padat.

Korelasi lapisan hasil pemboran inti dari analisis *core* di daerah ini menunjukkan bahwa :

- Susunan lapisan soil dan batuan di lokasi DH-2, DH-3 dan DH-4 relatif sama : pasir lanauan, kerikil pasiran, lanau lempungan, pasir hasil pelapukan batupasir, batupasir yang berselingan dengan batulanau. Tingkat pelapukan di daerah aliran sungai (DH-3) lebih tinggi di bandingkan dengan daerah lain pada kedalaman yang relatif sama.
- Daerah hilir (DH-1) menunjukkan susunan lapisan soil berupa : pasir, kerikil pasiran, lanau kerikil dan lanau lempungan yang masih merupakan satuan aluvial sungai.
- Kemiringan lapisan soil dan batuan di daerah ini secara umum mengarah ke baratdaya (DH-4) sebesar 10° sampai 12°.
- Data *core* DH-2 kedalaman 13 – 14 meter berupa batupasir dengan *rock quality poor, spacing of joint very close, spacing of joint 1 – 5 mm*, kemenerusan kekar *continuous not gouge* dan **nilai total Bieniawski 45**.
- Data *core* DH-3 kedalaman 14 – 16 m dan 18 - 19 m berupa batulanau dengan *rock quality poor, spacing of joint very close, spacing of joint 1 – 5 mm*, kemenerusan kekar *continuous with gouge* dan **nilai total Bieniawski 30 dan 32**. Kedalaman 19 – 20 meter berupa batupasir dengan *rock quality fair, spacing of joint close, spacing of joint 1 – 5 mm*, kemenerusan kekar *continuous not gouge* dan **nilai total Bieniawski 45**.
- Data *core* DH-4 kedalaman 13 – 14 meter berupa batupasir dengan *rock quality poor, spacing of joint very close, spacing of joint 1 – 5 mm*, kemenerusan kekar *continuous with gouge* dan **nilai total Bieniawski 30**. kedalaman 14 – 15 meter berupa batupasir dengan *rock quality fair, spacing of joint close, spacing of joint 1 – 5 mm*, kemenerusan kekar *continuous not gouge* dan **nilai total Bieniawski 45**.

E. Uji Tembus Baku (SPT)

Uji tembus baku dilaksanakan dengan metode "Standart Penetration Test (SPT)" untuk memperoleh harna N yang dapat menunjukkan tingkat kepadatan relatif tanah, density, koefisien N_q , sudut geser dalam dan lebar pondasi yang diizinkan sesuai dengan perubahan harga tekanan yang terjadi. Pelaksanaan uji SPT ini hanya dilakukan di titik DH-2, DH-3 dan DH-4 yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil uji tembus baku pada perencanaan Bendung Kanjiro.

Kedalaman	Titik Bor DH-2	Titik Bor DH-3	Titik Bor DH-4
2,0 meter	N = 100; N' = 57,7 K = very dense, R = 0,8 - 1,0	N = 500; N' = 257,7 K = very dense, R = 0,8 - 1,0	N = 500; N' = 257,7 K = very dense, R = 0,8 - 1,0
4,0 meter	N = 115; N' = 65,0 K = very dense, R = 0,8 - 1,0	N = 300; N' = 157,5 K = very dense, R = 0,8 - 1,0	N = 300; N' = 157,5 K = very dense, R = 0,8 - 1,0
6,0 meter	N = 7; N' = 7,0 K = loose, R = 0,2 - 0,4	N = 27; N' = 21,0 K = medium loose, R = 0,4 - 0,6	Tidak dilakukan Pengujian
8,0 meter	N = 16; N' = 15,5 K = medium loose, R = 0,4 - 0,6	N = 36; N' = 25,5 K = medium loose, R = 0,4 - 0,6	Tidak dilakukan Pengujian
10,0 meter	N = 16; N' = 15,5 K = medium loose, R = 0,4 - 0,6	N = 36; N' = 25,5 K = medium loose, R = 0,4 - 0,6	N = 16; N' = 15,5 K = medium loose, R = 0,4 - 0,6
13,0 meter 12,5 meter	N = 136; N' = 75,5 (13 meter) K = very dense, R = 0,8 - 1,0	N = 61; N' = 38,0 (12,5 meter) K = dense, R = 0,6 - 0,8	N = 56; N' = 35,5 (12,5 meter) K = dense, R = 0,6 - 0,8
14,5 meter	Tidak dilakukan Pengujian	N = 70; N' = 42,5 K = dense, R = 0,6 - 0,8	Tidak dilakukan Pengujian
18,0 meter	Kedalaman bor 15 meter	N = 214; N' = 114,5 K = very dense, R = 0,8 - 1,0	Kedalaman bor 15 meter

Keterangan : K = kekerasan, R = Relative Density, N = Pengujian di atas GWL, N' = Pengujian di bawah GWL

Perhitungan dan analisis data uji tembus baku dengan metode SPT dari tiga titik bor adalah sebagai berikut :

- Titik DH-2, kedalaman 2 dan 4 meter, soil kerikil pasiran, *compactness very dense, relatif density* > 1,0, sudut geser dalam 40° , $N_q > 120$, $N_\delta > 145$. Kedalaman 6 meter, soil lanau lempungan, *compactness loose, relatif density* 0,2 - 0,4 sudut geser dalam $29,5^\circ$, $N_q > 25$, $N_\delta > 19$. Kedalaman 8 dan 10 meter, pasir, *compactness medium loose, relatif density* 0,4 - 0,6 sudut geser dalam 31° , $N_q > 27$, $N_\delta > 21$. Kedalaman 13 meter, lanau pasiran, *compactness very dense, relatif density* > 1,0 sudut geser dalam 40° , $N_q > 120$, $N_\delta > 145$.

- Titik DH-3, kedalaman 2 dan 4 meter, soil kerikil pasiran, *compactness very dense, relatif density* > 1,0, sudut geser dalam 40°, $N_q > 120$, $N_s > 145$. Kedalaman 6 meter, soil lanau lempungan, *compactness medium loose, relatif density* 0,4 - 0,6 sudut geser dalam 33°, $N_q > 39$, $N_s > 30$. Kedalaman 8 meter, pasir, *compactness medium loose, relatif density* 0,4 - 0,6 sudut geser dalam 34,5°, $N_q > 50$, $N_s > 125$. Kedalaman 12,5 m, pasir, *compactness dense, relatif density* > 0,6 - 0,8 sudut geser dalam 38,5°, $N_q > 108$, $N_s > 126$. Kedalaman 14,5 meter, batulanau, *compactness dense, relatif density* > 0,8 - 1,0 sudut geser dalam 39°, $N_q > 110$, $N_s > 126$. Kedalaman 18 meter, batulanau, *compactness very dense, relatif density* > 1,0 sudut geser dalam 37°, $N_q > 70$, $N_s > 122$.
- Titik DH-4, kedalaman 2, 4 dan 10 meter, soil kerikil pasiran, *compactness very dense, relatif density* > 1,0, sudut geser dalam 40°, $N_q > 120$, $N_s > 145$. Kedalaman 12,5 meter, batupasir, *compactness dense, relatif density* 0,8 - 1,0 sudut geser dalam 37°, $N_q > 70$, $N_s > 122$.

F. Uji Kelulusan Air

Uji kelulusan air dilakukan di lapangan pada setiap lubang bor dengan metode "*Falling Head, Open End Test*" karena materialnya kurang massif.

Untuk mendapatkan nilai-nilai koefisien permeabilitas yang akan digunakan untuk menghitung nilai kelulusan air maka digunakan rumus Koefisien permeabilitas (K) :

$$K = \frac{\pi \cdot r}{5,5 \Delta t} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad \text{Darcy, 1856 dimana :}$$

- r = Jari-jari lubang bor (8,9 / 2 cm)
- H_1 = Tinggi air dari dasar sebelum penurunan (cm)
- H_2 = Tinggi air dari dasar setelah penurunan (cm)
- Δt = Waktu yang diperlukan untuk turun (detik)

Hasil perhitungan uji kelulusan air ini dapat dilihat secara detail pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Hasil uji kelulusan air dengan interval 5 meter di 4 lubang bor

Titik Bor	Dalam Lubang cm	Diameter Lubang cm	Waktu (detik)	Penurunan (cm)	GWL (cm)	Stip Up Casing(cm)	K Permeabilitas
DH-1	500	8,9	17	10,0	40,0	20,0	$2,7 \times 10^{-2}$
	500	8,9	20	10,0	40,0	20,0	$2,3 \times 10^{-2}$
	500	8,9	20	10,0	40,0	20,0	$2,3 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	49	10,0	40,0	20,0	$9,5 \times 10^{-3}$
	1000	8,9	46	10,0	40,0	20,0	$1,0 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	46	10,0	40,0	20,0	$1,0 \times 10^{-2}$
DH-2	500	8,9	15	10,0	120,0	20,0	$1,3 \times 10^{-2}$
	500	8,9	14	10,0	120,0	20,0	$1,3 \times 10^{-2}$
	500	8,9	14	10,0	120,0	20,0	$1,3 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	52	10,0	120,0	20,0	$3,6 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	54	10,0	120,0	20,0	$3,5 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	54	10,0	120,0	20,0	$3,5 \times 10^{-2}$
	1500	8,9	40	10,0	120,0	20,0	$4,7 \times 10^{-2}$
	1500	8,9	42	10,0	120,0	20,0	$4,5 \times 10^{-2}$
DH-3	500	8,9	3	10,0	0,0	170,0	$5,1 \times 10^{-2}$
	500	8,9	5	10,0	0,0	170,0	$3,1 \times 10^{-2}$
	500	8,9	6	10,0	0,0	170,0	$2,6 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	2	10,0	0,0	170,0	$7,7 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	3	10,0	0,0	170,0	$5,1 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	3	10,0	0,0	170,0	$5,1 \times 10^{-2}$
	1500	8,9	4	10,0	0,0	170,0	$3,9 \times 10^{-2}$
	1500	8,9	6	10,0	0,0	170,0	$2,6 \times 10^{-2}$
	1500	8,9	8	10,0	0,0	170,0	$1,9 \times 10^{-2}$
	2000	8,9	5	10,0	0,0	170,0	$3,1 \times 10^{-2}$
	2000	8,9	7	10,0	0,0	170,0	$2,2 \times 10^{-2}$
	2000	8,9	11	10,0	0,0	170,0	$1,4 \times 10^{-2}$
DH-4	500	8,9	12	10,0	120,0	20,0	$1,6 \times 10^{-2}$
	500	8,9	12	10,0	120,0	20,0	$1,6 \times 10^{-2}$
	500	8,9	12	10,0	120,0	20,0	$1,6 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	14	10,0	120,0	20,0	$1,3 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	15	10,0	120,0	20,0	$1,3 \times 10^{-2}$
	1000	8,9	17	10,0	120,0	20,0	$1,3 \times 10^{-2}$
	1500	8,9	40	10,0	120,0	20,0	$4,7 \times 10^{-2}$
	1500	8,9	42	10,0	120,0	20,0	$4,5 \times 10^{-2}$
	1500	8,9	42	10,0	120,0	20,0	$4,5 \times 10^{-2}$

5. SUMUR UJI (TEST PIT)

Sumur uji sebanyak 10 titik dengan ukuran 1 x 1,5 m dan kedalaman 1,0 – 4,1 m. Lokasi rencana pengambilan material bahan bangunan diwakili TP-1 sampai TP-4, yaitu :

- Sumur uji TP-1, kedalaman 1,3 meter dengan GWL -0,80 m :
 - 0 – 0,78 m, pasir lanauan, abu-abu kekuningan, pasir halus, terdiri dari mika, gradasi jelek dan urai

- 0,78 – 1,3 m, pasir kerikil, kuning kecoklatan – abu-abu, terdiri 10% kerikil, pasir kasar – halus 90%, sekis, silika.
 - > 1,3 m, kerikil pasiran, abu-abu, sekis, mika, genes, silika, bentuk sub rounded – rounded.
- b. Sumur uji TP-2, kedalaman 1,2 meter dengan GWL -0,90 m :
- 0 – 0,71 m, pasir lanauan, abu-abu kekuningan, pasir halus, terdiri dari mika, gradasi jelek dan urai
 - 0,71 – 0,96 m, pasir, abu-abu kecoklatan – coklat kemerahan, mika, gradasi jelek.
 - > 0,96 m, kerikil pasiran, abu kekuningan, sekis, genes, silika, bentuk sub rounded, diameter maksimum 7 cm.
- c. Sumur uji TP-3 kedalaman 1,0 meter dengan GWL -0,40 m :
- 0 – 0,25 m, pasir lanauan, abu-abu kekuningan, pasir halus, terdiri dari mika, gradasi jelek dan urai
 - 0,25 – 0,55 m, pasir, abu-abu kuning kecoklatan, 1% kerikil dominan pasir, sekis, silika, diameter maksimum 3 cm.
 - > 0,55 m, lanau lempungan, abu-abu kekuningan, plastisitas rendah, lunak dan jenuh air.
- d. Sumur uji TP-4, kedalaman 1,0 meter dengan GWL -0,60 m :
- 0 – 0,45 m, pasir lanauan, abu-abu kekuningan, pasir halus, terdiri dari mika, gradasi jelek dan urai
 - 0,45 – 0,65 m, pasir, abu-abu kuning, mika, gradasi jelek, pasir ukuran halus lebih dominan.
 - > 0,65 m, pasir, abu-abu, sekis, mika dan silika, pasir dominan dan mengandung sekitar 5% kerikil.

Lokasi perencanaan saluran dan bahan timbunan di daerah bendung Kanjiro diwakili oleh TP-5 sampai TP-10, dengan susunan tanah masing-masing *test pit* adalah :

- a. Sumur uji TP-5, kedalaman 2,3 meter dengan GWL -1,40 m :
- 0 – 1,25 m, pasir lanauan, coklat kemerahan, lunak – teguh, ada batupasir yang lapuk 5%.
 - > 1,25 m, pasir, abu-abu gelap - hitam, plastisitas rendah, lunak, dan bagian atasnya banyak terdapat daun-daun.
- b. Sumur uji TP-6, kedalaman 3,0 meter dengan GWL -3,0 m :
- 0 – 2,05 m, pasir lanauan, coklat kemerahan, lunak – teguh, ada pasir 5%.
 - > 2,05 m, pasir, coklat, ukuran pasir halus – sedang, 5% lanau, agak padat – padat, pelapukan sempurna batupasir.

- c. Sumur uji TP-7, kedalaman 3,0 meter dengan GWL -3,0 m :
 - 0 – 2,25 m, pasir lanauan, coklat kemerahan, lunak-teguh.
 - > 2,25 m, lanau, coklat kemerahan, plastisitas rendah.
- d. Sumur uji TP-8, kedalaman 3,55meter dengan GWL -3,15 m :
 - 0 – 3,2 m, pasir lanauan, coklat kekuningan, teguh.
 - > 3,2 m, pasir, coklat kemerahan, pasir halus – sedang, 5% lanau, agak padat, lapuk sempurna, gradasi jelek.
- e. Sumur uji TP-9 kedalaman 4,1 meter dengan GWL -3,70 m :
 - 0 – 3,4 m, pasir lanauan, kuning kemerahan, teguh.
 - > 3,4 m, pasir, coklat kemerahan, pasir halus - sedang, padat, lapukan batupasir, gradasi jelek.
- f. Sumur uji TP-10 kedalaman 2,75 m dengan GWL -2,75 m :
 - 0 – 2,70 m, pasir lanauan, coklat kekuningan, teguh.
 - > 2,70 m, pasir, coklat kemerahan, pasir halus – sedang, agak padat, pelapukan sempurna batuypasir, gradasi jelek.

6. HASIL ANALISIS LABORATORIUM

Analisis laboratorium mengenai sifat fisik (kadar air, berat jenis, ukuran butir, batas atterberg) dan sifat mekanis (konsolidasi dan permeabilitas) menunjukkan kondisi :

- Kadar air DH-1 (0-6)m; jenuh, (6-10)m; 64 - 82 %, DH-2 (0-4)m; jenuh, (4-15)m; 31- 91 %, DH-3 (0-5)m; jenuh, (5-20)m; 32 - 81 %, DH-4 (0-10)m; jenuh, (10-15)m; 34 - 77 %.
- Kadar air TP-1 sampai TP-5 kedalaman (0-1) m ; 78%-jenuh dan TP-6 sampai TP-10 kedalaman (0-3)m ; 54 - 86% sedangkan untuk TP-8 dan TP-9 (3-4)m : 87 - 90 %.
- Berat jenis tanah dan batuan pada pemboran DH-1 adalah antara 2,57 – 2,74, pada DH-2 adalah 2,55 – 2,75, pada DH-3 adalah 2,54 – 2,74 dan pada DH-4 adalah 2,56 – 2,78.
- Ukuran butir tanah sumur uji bergradasi baik pada TP-1 sampai TP-4 dalam (0-1)m, bawahnya jelek, TP-5 sampai TP-10 bergradasi hampir seragam dalam (0-4)m, dibawahnya jelek.
- Batas atterberg titik DH-1 (6-10)m, batas cair 18-36%, batas plastis 7-14%, indeks plastis 11-22%, titik DH-2 (0-1), batas cair 16%, batas plastis 6%, indeks plastis 10%, pada (4-15)m batas cair 9-69%, batas plastis 4-26%, indeks plastis 5-43%.

titik DH-3 (5-20)m, batas cair 19-68%, batas plastis 7-26%, indeks plastis 12-42% dan pada titik DH-4 (10-15)m, batas cair 23-66%, batas plastis 9-25%, indeks plastis 14-41%.

- Konsolidasi tanah lokasi sumur uji TP-6, TP-8 TP-10 kedalaman (1-1,3)m nilai *maksimum precompression* 0,98 – 1,2 kg/cm², *In situ void ratio* e_0 1,1553–1,2458 dengan koefisien konsolidasi c_v adalah $(4,51 - 5,23) \times 10^{-3}$ cm²/det dan *Compression index* e adalah 0,3980 – 0,4395.
- Permeabilitas tanah pada sumur uji TP-1, TP-2, TP-3, TP-4 kedalaman di atas 0,8 m menunjukkan nilai rata-rata sebesar $(1,9 - 2,26) \times 10^{-5}$, dan pada sumur uji TP-5, TP-6, TP-7 TP-8, TP-9, TP-10 kedalaman (1-1,2) meter nilai rata-rata adalah antara $3,36 \times 10^{-6}$ sampai $1,10 \times 10^{-5}$.

7. DAYA DUKUNG TANAH DAN BATUAN

Nilai daya dukung tanah dan batuan untuk perencanaan peletakan as bendung Kanjiro digunakan teori Terzaghi, 1948, yaitu : $q_{ul} = C N_c + D N_q + \frac{1}{2} \delta B N_\delta$ dan untuk mendapatkan nilai daya dukung yang diizinkan dengan faktor keamanan tiga adalah : $q_a = q_{ul} / 3$ yang secara detail dapat dilihat di lampiran.

8. PERENCANAAN BENDUNG KANJIRO

A. Peletakan As Bendung

Daerah perencanaan as bendung Kanjiro di dasarkan pada titik bor DH-2, DH-3, DH-4, daya dukung tanah, nilai klasifikasi Bieniawski, jenis tanah dan batuan dan kondisi morfologi, jadi :

- Pada lokasi DH-2, kaki pondasi harus terpancang di kedalaman > 9 meter, yaitu pada lapisan batupasir, di lokasi DH-3, kaki pondasi terpancang > 10 meter yaitu pada lapisan batulanau, sedangkan pada lokasi DH-4, kaki pondasi terpancang pada kedalaman > 10 meter pada lapisan lanau lempungan.
- Bentangan As bendung memotong sungai Kanjiro relatif berarah timurlaut – baratlaut dengan panjang sekitar 40 meter.

B. Daerah Rencana Saluran Suplay

Hasil pengamatan sumur uji terlihat bahwa daerah rencana saluran ditutupi oleh lapisan lanau lempungan dan pasir lanauan

dengan ketebalan 25 – 80 cm. Lapisan di bawahnya berupa pasir yang berukuran halus – sedang kadang mengandung kerikil, sekis genes dan silika, diameter 2 – 5 cm dan ketebalan 0,2 – 0,6 m.

Lokasi rencana saluran air sebagian melalui lereng yang kemiringannya terjal sehingga mudah longsor, kondisi tanah mudah tererosi dan tergelincir sehingga saluran sepanjang 100 m harus dibuat permanen, tertutup di bagian atasnya dan pada tempat tertentu saja dibuat penutup yang bisa dibuka/ditutup untuk menjaga kelancaran suplesi saluran air ini.

C. Daerah Bahan Timbunan

Daerah untuk bahan timbunan tersusun oleh tanah lanau lempungan, berwarna coklat kekuningan – coklat kemerahan, tebal 2 – 3,2 meter, berat jenis 2,6 dan kandungan air 43 – 52%. Sebelum digunakan sebagai bahan timbunan, sebaiknya tanah ini dikeringkan dulu untuk mencapai kadar air optimum untuk memperoleh hasil optimum dari pemadatan tanah tersebut.

D. Masalah Bocoran Bendung

Analisis permeabilitas menunjukkan daerah ini berada pada tingkat ordo -2 hingga -3 yang mengindikasikan bahwa tanah di daerah ini lolos air dengan kondisi yang hampir sama sampai pada kedalaman 20 meter.

Harga kelulusan air yang tinggi dan pondasi yang berada di atas 20 meter, maka penanggulangan yang lebih efektif adalah mempergunakan dan memperpanjang **clay blanket** pada lantai depan bendung. Karena bila cara *grouting* akan menghadapi kesulitan dalam masalah pengaturan tekanan *grouting* dan penggunaan material yang banyak.

KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan, penyelidikan dan analisis baik di lapangan maupun di laboratorium, maka dapat disimpulkan :

- Morfologi yang mengontrol berupa perbukitan terjal batupasir, perbukitan landai batulanau dan pedataran alluvial. Batuan penyusun dari tua ke muda terdiri dari batupasir, batulanau, dan aluvial sungai dengan faktor pelapukan mekanis dominan.

- Daerah ini berada pada areal percepatan gempa maksimum 78,4 gal dan percepatan gempa rencana per 20 tahun sebesar 120,83 cm/det² dengan koefisien gempa 0,1233 cm/det².
- Susunan batuan hasil pemboran inti dari bawah ke atas adalah batulanau, batupasir, lanau lempungan, kerikil pasiran, pasir dan pasir lanau bercampur dengan akar tumbuhan. Tingkat kepadatan sangat lepas – padat, gradasi jelek – baik.
- Daya dukung tanah dan batuan adalah 57,462–848.883 kg/cm² dengan as bendung berarah timurlaut–baratlaut, panjang 40 m dengan kedalaman kaki pondari 9 – 10 meter.
- Tanah di daerah ini lulus air dengan ordo -2 sampai -3 hingga penanggulangan masalah kebocoran dengan *clay blanket* pada lantai depan bendung. Kestabilan lereng pada tubuh bendung dan tanggul penahan banjir cukup baik selama sudut lereng tidak lebih dari 60° dengan faktor keamanan sekitar 3.

DAFTAR RUJUKAN

- Bowles, E. & Joseph, 1989, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Edisi II, PT. Gelora Pratama, Jakarta.
- Craig, R.F.S & Budi S., 1989, *Mekanika Tanah*, Edisi IV, Erlangga, Bandung.
- Kezdi & Arpad, 1980, *Handbook of Soil Mechanic*, Soil Testing Elseveir Scientific Pubhli, New York.
- Michael D.Joyce, 1982, *Site Investigation Practice*, Printed Great Britian, London.
- Nayoan T., 1980, *Peta Zona Kegempaan Untuk Bangunan Air*, Pusat Penelitian Bangunan Air, Bandung.
- SangleratG., 1972, *The Penetrometer and Soil Exploration*, Vol.1, Elsevier Scientific Pubhli, New York.
- Shirley L.H., 1987, *Geoteknik dan Mekanika Tanah*, Penyelidikan Lapangan dan Laboratorium, Nova, Bandung.
- Soedibyo, 1993, *Teknik Bendungan*, Edisi I, Pradnya Paramita, Jakarta.

Lampiran 1. Daya Dukung Tanah dan Batuan Berdasarkan Teori Terzaghi (Craig, 1989; Mekanika Tanah, hal. 265)

Dalam Bor (meter)	Jenis Material	Dalam Pondasi D (cm)	Lebar Pondasi B (cm)	Berat Jenis (kg/cm ³)	Sudut Geser dalam φ (°)	C Kohesi (kg/cm ²)	Faktor N ₁	Faktor N ₂	Faktor N ₃	Daya Dukung Ulimit (q _u)	Daya Dukung Yang Ditentukan (q _a)	
DH-2	2-3	Kerikil Pasiran	500	500	2,75	40	0	95	120	145	1.615.000	538.333
	4-5	Kerikil Pasiran	500	500	2,70	40	0	95	120	145	1.612.000	537.333
	6-7	Lantau Lempunga	500	500	2,58	29,5	0,27	38	25	19	172.385	57.462
	8-9	Pasir	500	500	2,58	31	0	40	27	21	197.580	65.860
	10-11	Pasir	500	500	2,57	31	0	40	27	21	197.445	65.815
	13-14	Batu Pasir	500	500	2,55	40	0,55	95	120	145	1.603.052	534.351
DH-3	2-3	Kerikil Pasiran	500	500	2,74	40	0	95	120	145	1.614.400	538.133
	4-5	Kerikil Pasiran	500	500	2,63	40	0	95	120	145	1.607.800	535.933
	6-7	Lantau Lempunga	500	500	2,58	33	0,27	50	39	30	299.115	99.705
	8-9	Pasir	500	500	2,60	34,5	0	58	50	43	806.750	268.917
	12-13	Pasir	500	500	2,60	38,5	0	88	108	125	2.546.650	848.893
	14-15	Batuanau	500	500	2,56	39	0,35	89	109	126	1.368.078	456.026
18-19	Batuanau	500	500	2,55	40	0,65	95	120	145	1.603.000	534.333	
DH-4	2-3	Kerikil Pasiran	500	500	2,75	40	0	95	120	145	1.615.000	538.333
	4-5	Kerikil Pasiran	500	500	2,75	40	0	95	120	145	1.614.400	538.133
	10-11	Lantau Lempunga	500	500	2,68	40	0,27	95	120	145	1.610.825	536.942
	12-13	Batu Pasir	500	500	2,59	37	0,55	86	105	123	1.273.772	424.591