

# PENGARUH NILAI LUGEON ( $L_v$ ) PADA TEST GROUTING PROYEK PEMBANGUNAN WADUK GONGSENG DI KABUPATEN BOJONEGORO

Kurniawan <sup>1)</sup>, Arifien Nursandah <sup>2)</sup>, Dio Alif Utama <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jl. Sutorejo No.59, Surabaya, 60113

Email: [abiwawan\\_72@yohoo.com](mailto:abiwawan_72@yohoo.com)

<sup>2)</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jl. Sutorejo No.59, Surabaya, 60113

Email: [arifien.nursandah@gmail.com](mailto:arifien.nursandah@gmail.com)

<sup>3)</sup>Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Surabaya  
Jl. Sutorejo No.59, Surabaya, 60113

Email: [dioalifhutama@ft.um-surabaya.ac.id](mailto:dioalifhutama@ft.um-surabaya.ac.id)

## ABSTRACT

Cement injection pressured procedure/cementation (grouting) is one process of some fluid material were injected in appropriate water pressure test in cavity, fracture, and cracks of rocks/soils, which its fluid will become physical or chemical. Aim of this evaluation was to gain comparison mixture design of cement, water, and injection fluid volume (grout) which were needed in grouting working based on lugeon value ( $L_v$ ) and to get effective interval distance between grouting point according to grouting effectiveness counting which was presented in percentage (%) (Cendergren, 1967).

Based on the highest counting result in each stages on the hole of first grouting stage was PH1  $L_v = 48,12$  lt/minutes/m<sup>3</sup>(lugeon), on CD1 second stage was  $L_v = 20,61$  lt/minutes/m<sup>3</sup>, on PH1 third stage was  $L_v = 61,01$  lt/minutes/m<sup>3</sup>, on PH1 fourth stage was  $L_v = 22,86$  lt/minutes/m<sup>3</sup>, on PH1 fifth stage were  $L_v = 21,46$  lt/minutes/m<sup>3</sup>. According to the result, the mean lugeon value for all stages were  $> 15$  lt/minutes/m<sup>3</sup>(lugeon), so it can be concluded that the comparison of mixture design of cement and water for grouting was 1 : 2. From the lugeon results  $> 30$ , it was used for comparison the mixture of cement and water 1 : 2, so mixture densities of 1 : 2 were amount of 7,30 t/m<sup>3</sup> with the use of the mixture in mixer volume was 200 l so the semen weight was 86,30 kg. Injection fluid volume (grout) needed with composition of cement volume was 27,40 l and water volume was 172,60 liter, while according to test of grouting effectiveness, it was gained Efs dominant value  $> 80$  %, so that for 3m interval distance was effective enough.

Keywords: *water pressure test, stage, lugeon value, mixture design, grouting.*

## ABSTRAK

Injeksi semen bertekanan/sementasi (*grouting*) adalah suatu proses, di mana suatu cairan diinjeksikan/disuntikan dengan tekanan sesuai uji tekanan air (*waterpressure test*) ke dalam rongga, rekah dan retakan batuan/tanah, yang mana cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi.

Tujuan dari test grouting ini, adalah untuk mendapatkan desain perbandingan berbagai variasi campuran semen dan air serta volume cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dalam pekerjaan *grouting* berdasarkan besarnya angka lugeon ( $L_v$ ) dan mendapatkan interval jarak efektif antar titik grouting berdasarkan perhitungan efektifitas grouting yang dinyatakan dalam % (Cendergren 1967).

Berdasarkan hasil perhitungan terbesar disetiap stage pada lubang *grouting stage* pertama PH1 didapat  $L_v = 48,12$  lt/menit/m<sup>3</sup>(lugeon), pada CD1 *stage* kedua didapat  $L_v = 20,61$  lt/menit/m<sup>3</sup>, pada PH1 *stage* ketiga didapat  $L_v = 61,01$  lt/menit/m<sup>3</sup>, pada PH1 *stage* keempat didapat  $L_v = 22,86$  lt/menit/m<sup>3</sup>, pada PH1 *stage* kelima didapat  $L_v = 21,46$  lt/menit/m<sup>3</sup>. Berdasarkan hasil perhitungan didapat besarnya angka lugeon ( $L_v$ ) rata-rata untuk semua *stage*  $> 30$  lt/menit/m<sup>3</sup>(lugeon), maka dapat disimpulkan bahwa desain perbandingan campuran semen dan air untuk *grouting* adalah 1 : 2. Dari angka lugeon  $> 30$  lugeon dipakai perbandingan campuran semen dan air 1 : 2, maka berat jenis campuran 1 : 2 didapat sebesar 7,30 t/m<sup>3</sup> dengan memakai campuran dalam volume mixer sebesar 200 liter, maka didapat berat semen sebesar 86,30 kg. Jadi volume cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dengan komposisi volume semen sebesar 27,40 liter dan volume air sebesar 172,60 liter, sedangkan berdasar perhitungan efektifitas test grouting didapatkan harga Efs dominan  $> 80$  %, sehingga untuk jarak interval 3 m cukup efektif.

Kata kunci: *water pressure test, stage, lugeon value, desain campuran, grouting*

## PENDAHULUAN

Dalam rangka mengembangkan potensi sumber

daya air, telah banyak bangunan bangunan pengairan yang berhasil diselesaikan dengan baik dan berfungsi sesuai dengan sasaran yang direncanakan yaitu pengendalian

banjir, penyediaan air baku (penyediaan air irigasi, air industri), pembangkit tenaga listrik. Namun demikian masih diperlukan pengembangan lebih lanjut guna memanfaatkan potensi yang masih ada untuk meningkatkan kemakmuran masyarakat dengan tetap menjaga kelestarian lingkungan.

Praturan Presiden No. 5 Tahun 2010 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) menyebutkan bahwa Prioritas Nasional ke lima adalah ketahanan pangan (food security). Oleh karena itu, pembangunan Waduk Gongseng ini penting dilaksanakan dalam rangka mewujudkan waduk sebagai infrastruktur irigasi untuk mendukung ketahanan pangan. Di samping itu, pembangunan waduk Gongseng juga diprioritaskan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yaitu untuk penyediaan air baku untuk wilayah Kabupaten Bojonegoro. Wilayah Kabupaten Bojonegoro terletak di kecamatan Temayang Propinsi Jawa Timur, dan merupakan daerah yang relatif kering, sumber air yang tersedia relatif sedikit (kecil) dibandingkan dengan daerah lainnya di Propinsi Jawa Timur. Dari keterbatasan sumber air tersebut diperlukan suatu upaya untuk mengembangkan, mengendalikan, memanfaatkan atau menggunakan dan melestarikan sumber air yang seoptimal mungkin, agar dapat mendukung keberadaan dan kebutuhan air penduduk secara terus menerus dan berkelanjutan.

Selain sebagai wadah atau tampungan air di musim hujan yang sekaligus dapat mengurangi bencana banjir di bagian hilir, di musim kemarau air tersebut juga dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan bersama khususnya bagi pemenuhan kebutuhan air irigasi, air baku, pengendali banjir dan pariwisata, serta budi daya air tawar

Bendungan Gongseng yang dibangun di Kabupaten Bojonegoro bertipe Bendungan Urugan zonal Inti tegak dengan tinggi 34 meter, panjang 420 meter.

Berdasarkan hasil Laporan DD Proyek Bendungan Gongseng dimana pada lokasi Main Dam disusun oleh batuan napal dan batu pasir gampingan dan sisipan tuff dan batugamping dari Formasi Kalibeng yang tidak berlapis yang mempunyai umur Pliosen bawah ~ Miosen Atas serta tidak dijumpai adanya struktur geologi atau perlemahan diskontinuitas yang dominan pada daerah rencana bendungan Gongseng dan dari hasil evaluasi pengamatan lapangan setelah dilakukan penggalian pondasi dan pengujian pemboran, di lokasi tersebut tersusun oleh hasil hancuran batuan yang mengandung lempung, lanau, pasir halus dan bongkahan, menunjukkan adanya jalur sesar (Fault) yang di cirikan ditemukan jalur hancuran (fracture) dan dijumpai juga adanya local slickensided dengan kemiringan  $S_{20} E/44^{\circ}$  pada lokasi tersebut, sehingga perlu dilakukan Perbaikan (treatment) pondasi dengan Grouting, dimana dengan grouting dapat meningkatkan daya dukung pondasi, menagtasi rembesan sampai batas rembesan yang diijinkan, menghambat piping (erosi partikel-partikel tanah), mengurangi tekanan uplift dan menutup jalur jalur rembesan yang memerlukan penanganan khusus,

Dengan melihat jenis-jenis pekerjaan dalam pembangunan Waduk Gongseng di Kabupaten Bojonegoro, salah satunya yaitu pekerjaan injeksi semen bertekanan/sementasi (*grouting*) dimana sebelum pelaksanaan perlu diawali dengan pekerjaan Test Grouting.

Test Grouting bertujuan mengetahui nilai Lugeon (Lv) sebelum grouting dan setelah grouting untuk mendapatkan perbandingan dengan variasi campuran semen. dan dapat pula diketahu jarak efektif antar titik grouting

## MATERI DAN METODE

### Materi Grouting

Injeksi semen bertekanan/sementasi (*grouting*) adalah suatu proses, di mana suatu cairan diinjeksikan/disuntikan dengan tekanan sesuai uji tekanan air (water pressure test) ke dalam rongga, rekah dan retakan batuan/tanah, yang mana cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi.

Penginjeksian semen grouting, setelah dilakukan pencucian dan pengujian kelulusan air (Lugeon Test) selesai, maka baru dilakukan pekerjaan grouting dengan penyuntikan semen milk yang dimulai dengan campuran sesuai dengan perubahan campuran untuk pelaksanaan, patokan rasio campuran grouting tergantung dari hasil pengujian kelulusan air.

Campuran awal grouting ditentukan oleh harga lugeon (Lv) hasil pengujian WPT (Water Pressure Test) :

- ❖ Harga lugeon  $3 >Lv < 5$ , campuran awal grouting dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 10.
- ❖ Harga lugeon  $5 >Lv < 10$ , campuran awal grouting dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 6.
- ❖ Harga lugeon  $10 >Lv < 30$ , campuran awal grouting dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 3.
- ❖ Harga lugeon  $30 >Lv < 50$ , campuran awal grouting dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 2.
- ❖ Harga lugeon  $Lv < 50$ , campuran awal grouting dimulai dengan perbandingan campuran c : w = 1 : 1.
- ❖ Harga lugeon  $Lv > 100$ , campuran awal grouting dimulai dengan perbandingan campuran c : w : p = 1 : 1 : 2.
- ❖ Harga lugeon (Lv) < 3, grouting tidak dilaksanakan.

Pelaksanaan Pengujian grouting Test dilakukan dengan menggunakan Methoda Downstage (dari atas kebawah).

### Macam macam Gruting.

Macam-macam grouting Berdasarkan fungsinya sementasi (grouting) dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. Grouting tirai diharapkan dapat berfungsi mengurangi aliran air di bawah bendungan (seepage), memperkecil adanya tekanan air ke atas (up lift pressure). Grouting tirai ini terletak di bawah pondasi bendungan tepat di bawah garis as pelimpah (spillway). Pekerjaan grouting tirai pada proyek Bendungan/Waduk Gongseng dilaksanakan pada as/poros tubuh bendungan.
2. Grouting konsolidasi dimaksudkan untuk menambah daya dukung tanah pondasi bendungan, berhubung

resultanta gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendungan menuju ke arah kaki bendungan sebelah hilir, maka grouting konsolidasi dilakukan tepat di bawah kaki hilir bendungan dan kaki hilir pelimpah. Pekerjaan grouting konsolidasi di Pembangunan Waduk Gongseng sesuai desain tidak dilaksanakan.

Sebelum pelaksanaan grouting dimulai, lebih dulu diadakan test grouting yang bertujuan untuk :

- 1 Mendapatkan gambaran yang lebih detail mengenai pengaturan jarak dan pola lobang grouting.
- 2 Mengetahui metoda pelaksanaan yang cocok sesuai kondisi batuan.
- 3 Menentukan besarnya tekanan injeksi pada waktu pelaksanaan.
- 4 Mengetahui banyaknya material yang akan digunakan.
- 5 Menentukan jenis dan banyaknya peralatan yang akan dipakai

Adapun tujuan utama dari perbaikan pondasi dengan grouting adalah :

- 1 Mengurangi intensitas aliran filtrasi (kebocoran-kebocoran) dari waduk, yang mengalir keluar melalui rekahan-rekahan yang terdapat pada pondasi bendungan.
- 2 Mengurangi gaya keatas pada dasar calon bendungan yang disebabkan oleh tekanan airtanah yang terdapat didalam lapisan pondasi.
- 3 Meningkatkan daya dukung batuan yang membentuk lapisan pondasi calon bendungan.

## Metode

### Tempat Pengujian

Tempat pengujian di lokasi Proyek Pembangunan Waduk Gongseng di Kabupaten Bojonegoro yang terletak di Desa Kedungsari, Kecamatan Temayang. *Grouting* test ini telah dilaksanakan oleh PT. Utama Karya (Persero) sebagai Kontraktor Pelaksana dan Konsultan Pengawas PT. Inakko Internasional Konsulindo KSO PT. Tuah Agung Anugerah. Tempat *grouting* pada 1 lokasi pada sandaran kiri, tempat dimana terdapat pergantian / perbedaan struktur /formasi geologi sepanjang tubuh bendungan, dimana *grouting* hole terdiri dari tiga lobang yang terletak pada sudut segi tiga dengan sisi miring 3,00 m jaraknya dan satu lobang check hole terletak ditengah-tengahnya

### Alat dan Bahan Pengujian

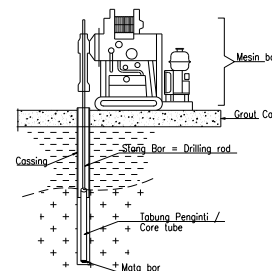
Alat yang digunakan dalam pekerjaan grouting, yaitu:

- a. Kompresor (*compressor*)  
Digunakan untuk memberikan tekanan pada mesin pengeboran dan pompa sementasi
- b. Mesin pengeboran (*drilling machine*)  
Ada 2 tipe yang iasa digunakan, yaitu: mesin pengeboran putaran (rotary drilling machine) dan mesin pengeboran pukulan (percussion drilling machine). Pada pengujian ini menggunakan mesin bor tipe rotasi (*rotary type drills*) dengan hydraulic feed spindle, kapasitas minimum 100 m, di mana ujungnya

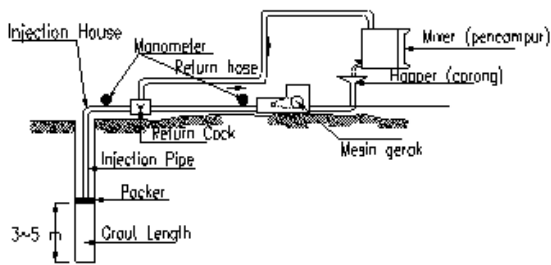
dipasang suatu mata bor. Mata bor dengan diameter sekitar 73 mm dan 66 mm. Mata bor diameter 73 mm digunakan untuk *Drilling* dengan *Coring* sedangkan mata bor diameter 66 mm digunakan untuk *Drilling* tanpa *Coring* (*cutting*).

- c. Penutup lubang mengatasi bocor (*packer*)  
Digunakan untuk menutup lubang bor agar tidak bocor pada waktu pengujian air dan selama sementasi berlangsung. Dipakai Packer jenis Pneumatic air packer atau screw packer dengan diameter 73 mm atau 66 mm.
- d. Alat pencampur (*colloidal mixer*)  
Digunakan untuk mencampur semen dengan air dan bila perlu ditambah bentonite atau bentonit dan pasir halus, dilengkapi dengan drum dobel dengan kapasitas tidak kurang dari 200 lt, dengan tipe koloidal berkecepatan tinggi, yang berotasi sekitar 100 - 1500 rpm. Waktu untuk setiap campuran harus selesai dalam 2 menit
- e. Alat pengaduk (*agitator*)  
Digunakan untuk mengaduk campuran sementasi sehingga menjadi bubur dan menjadi campur betul. Karena alat ini bekerja terus-menerus, maka campuran selalu berbentuk bubur dan sewaktu-waktu siap dipompakan.
- f. Pompa sementasi (*grout pumps*).  
Digunakan untuk memompakan campuran sementasi ke dalam lubang dan harus mampu memompa butiran-butiran pasir halus dan semen. Grout Pumps adalah reciprocating piston type dengan kapasitas minimum 60 lt/menit pada tekanan 10 kg/cm<sup>2</sup>.
- g. Alat pencatat (*grout recorder*)  
Digunakan untuk mencatat pemakaian semen dan tekanannya, dengan alat ini selama kegiatan sementasi dapat dicatat dengan baik. Pressure gauge harus mempunyai skala bacaan 1 - 15 km/cm<sup>2</sup> dengan ketelitian 0,50 kg/cm<sup>2</sup>.
- h. Memasukkan alat packer ke dalam lubang bor (*hose reel*)  
Digunakan untuk memasukkan alat packer ke dalam lubang bor.

Berikut mesin bor tipe rotasi sesuai Gambar.1 dan skema alat grouting (sementasi) sesuai yang terlihat pada Gambar.2 dan di bawah ini.



Gambar 1 Mesin Bor Putar type Spindle Hidrolik



Gambar 2 Skema alat grouting ( sementasi )

Bahan yang dipergunakan untuk cairan injeksi (bubur sementasi) pada pekerjaan *grouting* terdiri dari:

1. Air

Air yang digunakan diambil dari Kali Soko ( Kedung Maor ), sebelum dipergunakan ditampung lebih dahulu dalam bak penampungan (*water tank*), kemudian harus bebas dari kotoran, benda-benda organik, asam, alkali dan kotoran lain. Air dengan tempratur di atas 30°C tidak boleh dipergunakan dengan maksud untuk membatasi kenaikan tempratur dalam *grouting*. Juga perlu diingat bahwa persediaan air untuk keperluan injeksi harus cukup, karena apabila kekurangan air berakibat fatal, yaitu dapat tersumbatnya mesin, selang, rangkaian pipa injeksi dan lubang injeksi oleh pemadatan cairan injeksi di dalamnya

2. Semen

Semen yang dipergunakan adalah Semen Gresik atau sesuai dengan ASTM C 150 yang didatangkan langsung dari pabriknya. Macam dari semen yang dipergunakan adalah semen tahan sulfat dengan syarat harus diangkut ketempat dengan ada tanda-tanda tertentu, kemasan bagus dan tertutup rapat pada kantong kertas atau bungkus lainnya, penyimpanan semua semen harus digudang yang tahan air dan kedap udara yang khusus dilengkapi untuk maksud tersebut.

3. Pasir (*fine aggregate*)

Bahan ini terutama dipergunakan untuk menanggulangi kebocoran permukaan yang cukup besar. Bila pada saat ini pelaksanaan *grouting* terjadi kebocoran permukaan, maka *grouting* dihentikan dan tempat yang bocor ditutup dengan campuran pasir dan semen. Pasir harus bersih dari berbutir sama dan bila dites pada ayakan BS 812, butirbutir tidak akan melampaui batasan-batasan, sesuai Tabel. 1 di bawah ini.

Tabel .1. Syarat Pasir Material Grouting

B. S. Sieve No.	Butir Yang Lewat (%)
7	100
14	95 – 100
25	60 – 85
52	20 – 50
100	20 – 30
200	0 – 5

Sumber: Konsultan Puslitbang Pengairan Bandung

4. Bentonite

Bahan ini berguna untuk memperlancar aliran cairan injeksi yang masuk ke dalam lubang injeksi. Pada pembuatan campuran bentonite yang diijinkan hanyalah 2,0% dari berat semen yang digunakan

Data dan Model Pengujian

Desain Perbandingan Campuran Semen dan Air

Adapun dasar-dasar perumusan yang dipergunakan untuk menghitung besarnya angka kelulusan air dalam batuan (*lugeon value*) simbol  $L_v$  (liter/menit/m<sup>3</sup>) dan koefisien permeabilitas simbol  $K$  (cm/detik) dalam batuan tersebut yang menentukan desain perbandingan campuran semen dan air (bubur sementasi) pekerjaan *grouting*. Data yang diperlukan dalam desain perbandingan campuran semen dan air pekerjaan *grouting* pada Pembangunan Waduk Gongseng di Kabupaten Bojonegoro, adalah sebagai berikut:

1. Semen dari Semen Gresik dengan berat jenis = 3.15 ton/m<sup>3</sup>
2. Air dari air Kali Soko ( Kedung Maor ) dengan berat jenis = 1.00 ton/m<sup>3</sup>
3. PH1 *stage* pertama (10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 48.12 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Koefisien permeabilitas ( $K$ ) = 0.0007841 cm/detik
4. CD1 *stage* kedua (10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 20.61 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Koefisien permeabilitas ( $K$ ) = 0.0002668 cm/detik
5. PH1 *stage* ketiga(10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 61.01 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Koefisien permeabilitas ( $K$ ) = 0.0007962 cm/detik
6. PH1 *stage* keempat (10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 22.86 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Koefisien permeabilitas ( $K$ ) = 0.0002392 cm/detik
7. PH1 *stage* kelima (10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 21.46 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Koefisien permeabilitas ( $K$ ) = 0.0002158 cm/detik
9. Perbandingan semen : air = 1 : 10 ; 1 : 8 ; 1 : 6

Model pengujian sebelum melaksanakan *grouting* pada setiap panggung (*stage*) dari masing-masing lubang injeksi (*grout*), terlebih dahulu dilakukan uji tekanan air (*water pressure test*) dengan pengepakan tunggal (*single packer*). Tekanan maksimum yang dipakai dalam percobaan ini ditentukan sebesar 0,50 kg/cm<sup>2</sup> untuk *stage* pertama, sedangkan untuk *stage* selanjutnya tekanan dapat diperbesar sesuai dengan kedalaman lubang, yaitu tidak melampaui 0,15 kg/cm<sup>2</sup> per meter kedalaman. Tekanan uji pada waktu melaksanakan percobaan ini dilakukan dalam

variasi yang menurun, yaitu: 33%,67%, 100%, 67% dan 33% dari tekanan maksimum yang diinjeksikan. Dalam pemakaian tekanan maksimum pada saat operasi, mempunyai hasil optimum dan dapat menjamin terhadap pecahnya (*bursting*) daerah yang digROUTING akibat tekanan ke atas (*up lift pressure*) yang diinjeksikan.

Dalam pengujian ini, pelaksanaan pekerjaan sementasi menggunakan metode sementasi bertingkat (*stage grouting*). Perhitungan campuran bubuk sementasi pekerjaan *grouting* terutama untuk mencari jumlah semen yang digunakan serta volume campuran antara semen dan air yang dibutuhkan, maka sebagai dasar perhitungan adalah kondisi material yang digunakan khususnya semen dan air, sehingga campuran dengan perbandingan semen dan air dapat dihitung berdasarkan angka lugeon (Lv). Sehingga untuk campuran dengan perbandingan semen : air sebesar sampai pada perbandingan 1 : 1 (campuran ini dianggap sebagai campuran yang paling kental) dapat dihitung sebagai berikut:

1. Menetapkan harga lugeon test = 1 - 5 lugeon, 5 - 15 lugeon dan > 15 lugeon berdasarkan hasil uji tekanan air (*water pressure test*),
2. Menetapkan campuran dengan perbandingan semen : air, dimana dipakai campuran 1 : 10; ; 1 : 8 ; 1 : 6 berdasarkan kekentalan dengan melakukan pengujian dari yang paling encer sampai kekentalan yang sesuai, maka berhasil mencapai kedalaman 5,00 m panjang dengan tekanan 10 kg/cm<sup>2</sup>,
3. Berdasarkan campuran yang dipakai, dihitung berat jenis campuran (t/m<sup>3</sup>),
4. Campuran dalam volume mixer = 200 liter sesuai spesifikasi alat
5. Menghitung berat semen yang ditentukan (kg)
6. Menghitung volume semen (liter),
- 7 Menghitung volume air (liter).

Rumus perhitungan:

- Ditetapkan harga lugeon test = 1 - 5 lugeon,
- Ditetapkan campuran 1 : 10,
- Menghitung berat jenis campuran 1 : 10 dihitung sebagai berikut (t/m<sup>3</sup>) = (10 x berat jenis semen) + (1 x berat jenis air),
- Campuran dalam volume mixer = 200 liter,
- Menghitung berat semen yang ditentukan (kg) = (berat jenis semen berat jenis campuran 1 : 10) x campuran dalam volume mixer,
- Menghitung volume semen (liter) = (berat semen yang ditentukan/berat jenis semen),
- Menghitung volume air (liter) = campuran dalam volume mixer – volume semen. Untuk jenis batuan yang mudah runtuh ditambah dengan bahan bentonit dengan perbandingan berat terhadap semen 2% - 5%.

#### Jarak Interval Grouting

Berdasarkan perhitungan efektifitas grouting yang dinyatakan dalam persen (%) Cendergren (1967) dengan membandingkan angka kelulusan air ( Lugeon ) sesudah grouting dan sebelum grouting. Untuk

mendapatkan rata rata efektifitas grouting persen (%) diperlukan data – data sebagai berikut :

1. PH1 *stage* pertama (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 48.12 liter/menit/m'
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.96 liter/menit/m'
2. CD1 *stage* kedua (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 20.61 liter/menit/m'
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.58 liter/menit/m'
3. PH1 *stage* ketiga(10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 61.01 liter/menit/m'
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.19 liter/menit/m'
4. PH1 *stage* keempat (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 22.86 liter/menit/m'
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.48 liter/menit/m'
5. PH1 *stage* kelima (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 21.46 liter/menit/m'
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.95 liter/menit/m'

Rumus Perhitungan :

- Dengan membandingkan angka kelulusan air sesudah grouting dengan angka kelulusan air sebelum grouting dalam persen (%) terhadap efektifitas 100% jika didapat efektifitas dengan pengaruh minimal baik seperti dalam table.2 ,maka jarak interval pelaksanaan grouting cukup efektif.

Tabel .2 Efektivitas Grouting dan Pengaruhnya

Efektivitas Grouting (%)	Pengaruh Grouting
>90	Sangat baik
60 – 90	Baik
30 – 60	Sedang
10 – 30	Kurang
<10	Buruk

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan uji tekanan air (*water pressure test*) didapat besarnya angka lugeon dan koefisien permeabilitas pada setiap stage sebelum grouting, adalah sebagai berikut:

1. PH1 *stage* pertama (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) = 48.12 liter/menit/m'
  - Koefisien permeabilitas (K) = 0.0007841 cm/detik
2. CD1 *stage* kedua (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) = 20.61 liter/menit/m'
  - Koefisien permeabilitas (K) = 0.0002668 cm/detik

3. PH1 *stage* ketiga (10 atm):  
 - Angka lugeon (Lv) = 61.01 liter/menit/m<sup>3</sup>  
 - Koefisien permeabilitas (K) = 0.0007962 cm/detik
4. PH1 *stage* keempat (10 atm):  
 - Angka lugeon (Lv) = 22.86 liter/menit/m<sup>3</sup>  
 - Koefisien permeabilitas (K) = 0.0002392 cm/detik
5. PH1 *stage* kelima (10 atm):  
 - Angka lugeon (Lv) = 21.46 liter/menit/m<sup>3</sup>  
 - Koefisien permeabilitas (K) = 0.0002158 cm/detik
6. Perbandingan semen : air = 1 : 10 ; 1 : 8 ; 1 : 6

Berdasarkan data yang diperlukan dalam variasi desain campuran semen dan air pekerjaan grouting Pembangunan Waduk Gongseng adalah sebagai berikut :

- Semen dengan berat jenis = 3.15 ton/m<sup>3</sup>
  - Air dari air kali Soko dengan berat jenis 1 ton/m<sup>3</sup>
- Sehingga untuk campuran dengan perbandingan 1:10, 1:6, 1:3 dst dapat dihitung sebagai berikut :

1. Untuk harga lugeon  $3 > Lv < 5$  dimulai dengan campuran 1: 10.
  - ♦ Berat jenis 1:10 dihitung sebagai berikut =  $(3.15 \times 10) + (1 \times 1) = 32.50 \text{ t/m}^3$
  - ♦ Campuran dalam mixer ( Beton Molen ) 200 liter  
 Jadi berat semen ditentukan =  $(3.15/32.5) \times 200 = 19.38 \text{ Kg}$   
 - Volume semen =  $(19.38 / 3.15) = 6.15 \text{ liter}$   
 - Volume Air =  $200 - 6.15 = 193.85 \text{ liter}$
2. Untuk harga lugeon  $5 > Lv < 10$  dimulai dengan campuran 1: 6
  - ♦ Berat jenis 1: 6 dihitung sebagai berikut =  $(3.15 \times 6) + (1 \times 1) = 19.90 \text{ t/m}^3$
  - ♦ Campuran dalam mixer ( Beton Molen ) 200 liter  
 Jadi berat semen ditentukan =  $(3.15/19.9) \times 200 = 31.66 \text{ Kg}$   
 - Volume semen =  $(31.66 / 3.15) = 10.05 \text{ liter}$   
 - Volume Air =  $200 - 10.05 = 189.95 \text{ liter}$

Sehingga dengan cara yang sama dapat dihitung berbagai komposisi campuran semen :air seperti terlihat pada table 3 dibawah ini :

No.	Perbandingan Campuran	Berat Semen	Volume Semen	Volume Air	Volume Campuran
	Semen : Air	Kg	Liter	Liter	Liter
1	1 : 10	19.38	6.15	193.85	200.00
2	1 : 8	24.05	7.63	192.37	200.00
3	1 : 6	31.66	10.05	189.95	200.00
4	1 : 5	37.61	11.94	188.06	200.00
5	1 : 4	46.32	14.71	185.29	200.00
6	1 : 3	60.29	19.14	180.86	200.00
7	1 : 2	86.30	27.40	172.60	200.00
8	1 : 1	151.81	48.19	151.81	200.00

Sumber : Hasil Perhitungan 2019

Sedangkan berdasar data hasil test WPT ( Water Pressure Test ) dapat dihitung angka lugeon (Lv) pada titik PH-1, CD-1, CD-2 yaitu sebelum grouting dan pada titik CH-1 angka lugeon sesudah grouting sebagai berikut :

1. PH1 *stage* pertama (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 48.12 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.96 liter/menit/m<sup>3</sup>
2. CD1 *stage* kedua (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 20.61 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.58 liter/menit/m<sup>3</sup>
3. PH1 *stage* ketiga (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 61.01 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.19 liter/menit/m<sup>3</sup>
4. PH1 *stage* keempat (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 22.86 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.48 liter/menit/m<sup>3</sup>
5. PH1 *stage* kelima (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) sebelum grouting = 21.46 liter/menit/m<sup>3</sup>
  - Angka lugeon (Lv) setelah grouting = 2.95 liter/menit/m<sup>3</sup>

Dengan membandingkan angka kelulusan air sesudah grouting dengan angka kelulusan air sebelum grouting dalam persen (%) terhadap efektifitas 100%, didapat hasil Grouting test di lokasi Sandaran Kiri Proyek Pembangunan Waduk Gongseng di Kabupaten Bojonegoro dengan jarak interval 3 meter masing masih lubang grouting diringkas seperti table dibawah ini

Tabel 3: Daftar Komposisi Campuran Semen dan Air

Table 4 : Hasil Test Grouting dan nilai efektifitas

KEDALAMAN (m)	KONDISI GEOLOGI	NILAI LUGEON (Lv)				EFEKTIFITAS (%)	KETERANGAN
		PH-1	CD-1	CD-2	CH-1		
0,00 – 5,00	Napal	48.12	29.62	6.61	2.96	93.849	Sangat Baik
5,00 – 10,00	Napal	0.56	20.61	12.73	2.58	87.482	Baik
10,00 – 15,00	Napal	61.01	1.92	22.32	2.19	96.41	Sangat Baik
15,00 – 20,00	Batupasir Campingan	22.86	13.11	2.5	2.48	89.151	Baik
20,00 – 25,00	Batupasir Campingan	21.46	7	5.22	2.95	86.253	Baik

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil pembahasan didapat perhitungan hasil test grouting sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada lubang Pilot Hole dan Curtain Hole sebelum grouting didapat pada lubang PH1 stage pertama Lv = 48,12 ltr/menit/m, pada CD1 satge kedua Lv = 20,61 ltr/menit/m, pada PH1 stage ke tiga Lv = 60.01 ltr/menit/m, pada PH1 stage ke empat Lv = 22,86 ltr/menit/m dan pada PH1 stage ke lima Lv = 21,46 ltr/menit/m. Dengan demikian besaran rata rata angka lugeun ( Lv) pada lubang lubang pilot hole dan curtain hole pada atage 1 sampai stage 5 > 30 , maka dapat ditentukan besaran desain campuran perbandingan semen dan air yang banyak digunakan adalah 1 : 2
2. Pada lubang Chek hole setelah grouting didapat pada lubang CH 1 stage pertama Lv = 2,96 ltr/menit/m, pada stage kedua Lv = 2,58 ltr/menit/m, pada stage ke tiga Lv = 2,19 ltr/menit/m, pada stage ke empat Lv = 2,48 ltr/menit/m, dan pada stage ke lima Lv = 2,95 ltr/menit/m. Dengan hasil angka lugeon (Lv) dari semua stage < 3 dan jika dibandingkan dengan angka lugeoun sebelum grouting didapat angka efektifitas dominan > 80% maka tidak perlu tambahan lubang grouting.
3. Berdasar angka lugeun (Lv) > 30 digunakan campuran 1:2, didapat berat jenis campuran 7,30 ton/m<sup>3</sup>, karena campuran dalam volume mixer 200 liter didapat berat semen yang ditentukan sebesar 86,30 Kg.
4. Berdasarkan berat semen dan berat jenis semen, didapat volume injeksi (grout) yang diperlukan dengan komposisi volume semen sebesar 27,40 liter dan dari voulume mixer ( 200 liter) , maka volume air didapat sebesar 172,60 lite

### Saran

Diharapkan dengan hasil test grouting dengan didapatkannya nilai lugeon (Lv) dapat mempermudah dalam menentukan

1. Volume drilling grouting sesuai jarak efektif antar lubang grouting.

2. Prediksi kebutuhan bahan semen dan air dari berbagai variasi desain campuran semen dan air

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 2012. *Studi AMDAL Pembangunan Waduk Gongseng di Kabupaten Bojonegoro*, Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo
- Anonimous. 1974. *Desain Of Small Dams*, United States Departement Of Interior Bureau of Reclamations Oxford, IGH Publishing Co, New Delhi, Bombay, Calcuta
- Chow V.T. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta
- Hamdani M.1979. *Grouting Pada Pondasi Bangunan Air*, Seksi Geologi Teknik, DPMA, Jakarta
- Soediby. 1993. *Teknik Bendungan*, PT Pradnya Paramita, Jakarta
- Sosrodarsono, S. dkk.1981. *Bendungan Tipe Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta