

## DESAIN CAMPURAN SEMEN DAN AIR PADA PEKERJAAN *GROUTING* PROYEK BENDUNGAN/WADUK NIPAH MADURA-JAWA TIMUR

I Made Udiana

Dosen Jurusan Teknik Sipil, FST, Universitas Nusa Cendana, Kupang

### ABSTRAK

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.

Tujuan dari penelitian ini, adalah untuk mendapatkan desain perbandingan campuran semen dan air serta volume cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dalam pekerjaan *grouting* berdasarkan besarnya angka lugeon (*Lv*).

Berdasarkan hasil perhitungan pada lubang *grouting* P.1 *stage* pertama didapat  $Lv = 31,534$  lt/menit/m' (lugeon), pada P.2 *stage* kedua didapat  $Lv = 31,822$  lt/menit/m', pada S.1 *stage* pertama didapat  $Lv = 31,373$  lt/menit/m', pada S.2 *stage* kedua didapat  $Lv = 31,525$  lt/menit/m', pada T.1 *stage* pertama didapat  $Lv = 53,644$  lt/menit/m' dan pada T.2 *stage* kedua didapat  $Lv = 51,955$  lt/menit/m'. Berdasarkan hasil perhitungan didapat besarnya angka lugeon (*Lv*) rata-rata untuk semua *stage*  $> 15$  lt/menit/m' (lugeon), maka dapat disimpulkan bahwa desain perbandingan campuran semen dan air untuk *grouting* adalah 1 : 6. Dari angka lugeon  $> 15$  lugeon dipakai perbandingan campuran semen dan air 1 : 6, maka berat jenis campuran 1 : 6 didapat sebesar  $19,90$  t/m<sup>3</sup> dengan memakai campuran dalam volume mixer sebesar 200 liter, maka didapat berat semen sebesar 31,66 kg. Jadi volume cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dengan komposisi volume semen sebesar 10,05 liter dan volume air sebesar 189,95 liter.

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

Pembangunan yang sedang kita lakukan sekarang ini adalah bertujuan untuk mewujudkan cita-cita Nasional, yaitu masyarakat adil dan makmur serta sejahtera materiil dan spirituil berdasarkan Pancasila dan Undang-Undang Dasar 1945. Pemerintah Republik Indonesia telah berusaha dengan menumbuhkan dan menyebarkan pembangunan-pembangunan secara merata baik fisik maupun non fisik. Salah satu contoh dari pembangunan fisik yang banyak bermanfaat bagi daerah yang minus dengan pendapatan per kapita relatif rendah, yaitu dengan pembangunan bendungan/waduk dengan maksud untuk meningkatkan produksi pangan secara umum mengubah tradisi lama (sawah tadah hujan) menjadi tradisi baru (sistem pengairan teknis). Salah satu dari sumber itu adalah "air" yaitu yang memberikan andil yang besar di dalam

pengembangan jaringan irigasi yang akhirnya berpengaruh besar terhadap pola tanam daerah-daerah yang sekarang tegalan.

Madura merupakan suatu pulau yang terletak sebelah Timur Pulau Jawa dan termasuk dalam Provinsi Jawa Timur dikenal sebagai salah satu daerah yang tergolong daerah minus karena tanahnya tandus serta pendapatan per kapita penduduk masih rendah dibandingkan dengan daerah lain di Jawa Timur. Panjang pulau ini kurang lebih 160,00 km dan lebarnya 35,00 km dengan luas sekitar 4.500,00 km<sup>2</sup>.

Dari kenyataan yang ada dan berdasarkan hasil penelitian/percobaan pengembangan sumber air air tanah dan air permukaan, maka kekurangan air permukaan di musim kemarau merupakan masalah utama yang menyebabkan kurangnya produksi pertanian. Di samping itu dalam pemilihan lokasi sasarannya di bagian Selatan Pulau Madura ada tiga lokasi untuk dibangunnya waduk-waduk, masing-masing pada Kali Klampis (sudah dibangun bendungan beton yang mengairi sawah seluas 2.600,00 Ha), Kali Selo dan Kali Blega. Di bagian Utara beberapa lokasi yang ada kemungkinan dapat dibangun waduk penyimpan air juga telah disurvei dan diteliti, salah satu diantaranya lokasi tersebut adalah pada Kali Nipah.

Pada Kali Nipah ini sudah ada Dam Montor mengairi sawah seluas 225 Ha (sebagai Daerah Pengairan Montor) dan sekitar 5,00 km di atas Dam Montor ini dibangun Bendungan/Waduk Nipah yang dapat memberikan perluasan tanah persawahan yang dulunya berupa tegalan atau sawah tadah hujan seluas 1.475,00 Ha, volume waduk sebesar 1.500.000,00 m<sup>3</sup>, bendungan tipe beton masif, pelimpah (*spillway*) tipe pelimpah bebas ambang tipis dengan tinggi pelimpah 14,00 m.

Dengan melihat jenis-jenis pekerjaan dalam pembangunan Bendungan/Waduk Nipah, maka pekerjaan injeksi semen bertekanan/sementasi (*grouting*) yang menjadi materi penelitian, terutama desain perbandingan campuran semen dan air serta volume cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dalam pekerjaan *grouting* berdasarkan besarnya angka lugeon (Lv).

Pada proyek Bendungan/Waduk Nipah, jenis-jenis lubang *grouting* yang diteliti meliputi: lubang *grouting* perimer (P) yaitu: P1 pada setiap tempat *grouting* (*stage*) pertama dan P2 *stage* kedua, lubang *grouting* sekunder (S) yaitu: S1 *stage* pertama dan S2 *stage* kedua, serta lubang *grouting* tersier (T), yaitu: T1 *stage* pertama dan T2 *stage* kedua.

Tujuan dari penelitian ini, adalah untuk mendapatkan desain perbandingan campuran semen dan air serta volume cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dalam pekerjaan *grouting* berdasarkan besarnya angka lugeon (Lv).

## **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.

#### ***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 Nipah 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 pada proyek Bendungan/Waduk Nipah dilaksanakan jaraknya 8,00 m dari as/poros bendungan dan jaraknya 15,00 m dari as/poros bendungan.

Tujuan dari pekerjaan injeksi semen bertekanan/sementasi (*grouting*) antara lain:

- Mengurangi intensitas aliran filtrasi/kebocoran dari waduk yang mengalir keluar melalui rekahan-rekahan yang terdapat pada pondasi bendungan.
- Mengurangi gaya ke atas pada dasar calon bendungan yang disebabkan oleh tekanan air tanah (*uplift pressure*) yang terdapat dalam lapisan pondasi.
- Meningkatkan daya dukung batuan yang membentuk lapisan pondasi calon bendungan.

Pekerjaan injeksi semen bertekanan (*grouting*) didasarkan pada keadaan tanah dasar yang terpilih sebagai tempat as bendungan terdiri dari batu pasir gampingan yang berselingan dengan batu lanau, batu lempung dan batu gampingan pasiran. Batu-batu tersebut umumnya bersifat agak keras, kompak dan mempunyai angka kelulusan air berkisar antara 0,01 sampai dengan 112,90 lugeon.

## **Metode**

### ***Tempat penelitian***

Tempat penelitian di lokasi rencana Bendungan/Waduk Nipah yang terletak  $\pm$  4,0 km di sebelah Selatan Desa Batioh, Kecamatan Banyuates (Km 74 Jalan Raya Kamal-Ketapang). *Grouting* test ini telah dilaksanakan oleh Konsultan Pusat Penelitian dan Pengembangan Bidang Pengairan Bandung. Tempat *grouting* ada 3 jalur, yaitu jalur 1 sebagai tempat *grouting* tirai pada as/poros tubuh bendungan, jalur 2 sebagai tempat *grouting* konsolidasi jaraknya 8,00 m dari as/poros bendungan dan jalur 3 sebagai tempat *grouting* konsolidasi jaraknya 15,00 m dari as/poros bendungan

### ***Alat dan bahan penelitian***

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 penelitian ini menggunakan mesin bor tipe rotasi (*rotary type drills*) di mana ujungnya dipasang suatu mata bor. Mata bor dengan diameter "EX", diameter sekitar 36,0 mm untuk mesin bor tumbuk dan diameter "AX", diameter sekitar 46,0 mm untuk mesin bor putar bermata intan.

c. Penutup lubang mengatasi bocor (*packer*)

Digunakan untuk menutup lubang bor agar tidak bocor pada waktu pengujian air dan selama sementasi berlangsung.

d. Alat pencampur (*colloidal mixer*)

Digunakan untuk mencampur semen dengan air dan bila perlu ditambah bentonit atau bentonit dan pasir halus.

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.

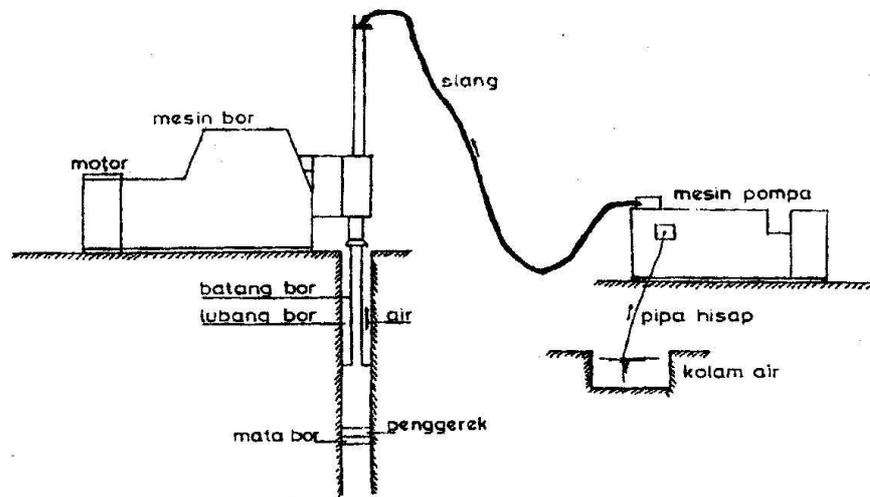
g. Alat pencatat (*grout recorder*)

Digunakan untuk mencatat pemakaian semen dan tekanannya, dengan alat ini selama kegiatan sementasi dapat dicatat dengan baik.

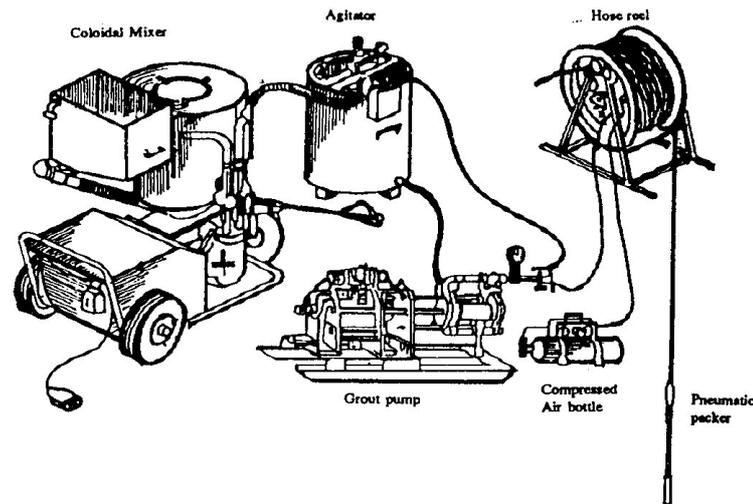
h. Memasukkan alat packer ke dalam lubang bor (*hose reel*)

Digunakan untuk memasukkan alat packer ke dalam lubang bor

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



**Gambar 1. Sketsa Mesin Bor Tipe Rotasi (*Rotary Type Drills*)**



**Gambar 2. Skhema Alat Grouting (Sementasi)**

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

1. Air

Air yang digunakan diambil dari Kali Nipah, 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 temperatur di atas  $30^{\circ}\text{C}$  tidak boleh dipergunakan dengan maksud untuk membatasi kenaikan temperatur 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 pematatan cairan injeksi di dalamnya

2. Semen

Semen yang dipergunakan adalah Semen Gresik 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, butir-butir 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. Bahan yang dipergunakan untuk cairan injeksi (bubur sementasi) terdiri dari:

#### ***Data dan model pengujian***

Adapun dasar-dasar perumusan yang dipergunakan untuk menghitung besarnya angka kelulusan air dalam batuan (*lugeon value*) simbol  $L_v$  (liter/menit/m') 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 Bendungan/Waduk Nipah, adalah sebagai berikut:

1. Semen dari Semen Gresik dengan berat jenis = 3,15 t/m<sup>3</sup>
2. Air dari air Kali Nipah dengan berat jenis = 1,00 t/m<sup>3</sup>
3. P.1 *stage* pertama (10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 31,534 liter/menit/m' (lugeon)
  - Koefisien permeabilitas ( $K$ ) = 0,0004079 cm/detik
4. P.2 *stage* kedua (10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 31.822 liter/menit/m' (lugeon)
  - Koefisien permeabilitas ( $K$ ) = 0.0004116 cm/detik
5. S.1 *stage* pertama (10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 31.373 liter/menit/m' (lugeon)
  - Koefisien permeabilitas ( $K$ ) = 0.0004058 cm/detik
6. S.2 *stage* kedua (10 atm):
  - Angka lugeon ( $L_v$ ) = 31.525 liter/menit/m' (lugeon)

- Koefisien permeabilitas (K) = 0.0004078 cm/detik
- 7. T.1 *stage* pertama (10 atm):
  - Angka lugeon (Lv) = 53.644 liter/menit/m' (lugeon)
  - Koefisien permeabilitas (K) = 0.0006939 cm/detik
- 8. T.2 *stage* kedua
  - Angka lugeon (Lv) = 51.955 liter/menit/m' (lugeon)
  - Koefisien permeabilitas (K) = 0.0006721 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  $0,50 \text{ kg/cm}^2$  untuk *stage* pertama, sedangkan untuk *stage* selanjutnya tekanan dapat diperbesar sesuai dengan kedalaman lubang, yaitu tidak melampaui  $0,15 \text{ kg/cm}^2$  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 penelitian 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 : 0,50 (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>3</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%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

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

1. P.1 *stage* pertama (10 atm):

- Angka lugeon (Lv) = 31,534 liter/menit/m'
- Koefisien permeabilitas (K) = 0,0004079 cm/detik

2. P.2 *stage* kedua (10 atm):

- Angka lugeon (Lv) = 31.822 liter/menit/m'
- Koefisien permeabilitas (K) = 0.0004116 cm/detik

3. S.1 *stage* pertama (10 atm):

- Angka lugeon (Lv) = 31.373 liter/menit/m'
- Koefisien permeabilitas (K) = 0.0004058 cm/detik

4. S.2 *stage* kedua (10 atm):

- Angka lugeon (Lv) = 31.525 liter/menit/m'
- Koefisien permeabilitas (K) = 0.0004078 cm/detik

5. T.1 *stage* pertama (10 atm):

- Angka lugeon (Lv) = 53.644 liter/menit/m'
- Koefisien permeabilitas (K) = 0.0006939 cm/detik

6. T.2 *stage* kedua

- Angka lugeon (Lv) = 51.955 lt/menit/m'
- Koefisien permeabilitas (K) = 0.0006721 cm/detik

7. Perbandingan semen : air = 1 : 10 ; 1 : 8 ; 1 : 6

Berdasarkan data yang diperlukan dalam desain campuran semen dan air (bubur sementasi) pekerjaan grouting pada Bendungan/Waduk Nipah, adalah sebagai berikut:

- Semen dari Semen Gresik dengan berat jenis = 3,15 t/m<sup>3</sup>
- Air dari air Kali Nipah dengan berat jenis = 1,00 t/m<sup>3</sup>

Sehingga untuk campuran dengan perbandingan semen : air sebesar 1 : 10 ; 1 : 8 ; 1 : 6 dapat dihitung sebagai berikut:

1. Untuk harga lugeon test = 1 - 5 lugeon dipakai campuran 1 : 10.

- Berat jenis campuran 1 : 10 dihitung sebagai berikut =  $(10 \times 3,15) + (1 \times 1,00) = 32,50 \text{ t/m}^3$
- Campuran dalam volume mixer = 200 liter

Jadi berat semen yang ditentukan =  $(3,15/32,50) \times 200 = 19,38 \text{ kg}$

- Volume semen =  $(19,38/3,15) = 6,15 \text{ liter}$
- Volume a i r =  $200 - 6,15 = 193,85 \text{ liter}$

2. Untuk harga lugeon test = 5 - 15 lugeon dipakai campuran 1 : 8.

- Berat jenis campuran 1 : 8 dihitung sebagai berikut =  $(8 \times 3,15) + (1 \times 1,00) = 26,20 \text{ t/m}^3$
- Campuran dalam volume mixer = 200 liter

Jadi berat semen yang ditentukan =  $(3,15/26,20) \times 200 = 24,05 \text{ kg}$

- Volume semen =  $(24,05/3,15) = 7,63 \text{ liter}$
- Volume a i r =  $200 - 7,63 = 192,37 \text{ liter}$

3. Untuk harga lugeon test > 15 lugeon dipakai campuran 1 : 6.

- Berat jenis campuran 1 : 6 dihitung sebagai berikut =  $(6 \times 3,15) + (1 \times 1,00) = 19,90 \text{ t/m}^3$
- Campuran dalam volume mixer = 200 liter

Jadi berat semen yang ditentukan =  $(3,15/19,90) \times 200 = 31,66 \text{ kg}$

- Volume semen =  $(31,66/3,15) = 10,05 \text{ liter}$
- Volume a i r =  $200 - 10,05 = 189,95 \text{ liter.}$

Sehingga dengan cara yang sama dapat pula dihitung komposisi campuran semen dan air untuk campuran-campuran berikutnya, seperti terlihat pada Tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 2. Daftar Komposisi Campuran Semen dan Air**

| No | Perbandingan Campuran Semen : Air | Berat Semen (Kg) | Volume Semen (liter) | Volume Air (liter) | Volume Campuran (liter) |
|----|-----------------------------------|------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|
| 1  | 1 : 10                            | 19,38            | 6,15                 | 193,85             | 200,00                  |
| 2  | 1 : 8                             | 24,05            | 7,63                 | 192,32             | 200,00                  |
| 3  | 1 : 6                             | 31,66            | 10,05                | 189,95             | 200,00                  |
| 4  | 1 : 4                             | 46,32            | 14,70                | 185,10             | 200,00                  |
| 5  | 1 : 2                             | 86,39            | 27,40                | 172,60             | 200,00                  |
| 6  | 1 : 1                             | 151,80           | 48,19                | 151,81             | 200,00                  |
| 7  | 1 : 0,5                           | 244,66           | 77,66                | 122,04             | 200,00                  |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2012.

## SIMPULAN

1. Ternyata dari hasil perhitungan pada lubang P.1 *stage* pertama  $L_v = 31,534 \text{ lt/menit/m'}$ , pada P.2 *stage* kedua  $L_v = 31.822 \text{ lt/menit/m'}$ , pada S.1 *stage* pertama  $L_v = 31.373 \text{ lt/menit/m'}$ , pada S.2 *stage* kedua  $L_v = 31.525 \text{ lt/menit/m'}$ , pada T.1 *stage* pertama  $L_v = 53.644 \text{ lt/menit/m'}$  dan pada T.2 *stage* kedua  $L_v = 51.955 \text{ lt/menit/m'}$ . Dengan demikian, besarnya rata-rata angka lugeon ( $L_v$ ) untuk semua lubang (P1, P2, S1, S2, T1 dan T2) dan *stage* (pertama dan kedua)  $> 15,000$  lugeon, maka dapat ditentukan bahwa besarnya desain perbandingan campuran semen dan air (bubur sementasi) adalah 1 : 6
2. Berdasarkan angka lugeon ( $L_v$ )  $> 15$  lugeon dipakai campuran 1 : 6, didapat berat jenis campuran 1 : 6 sebesar  $19,90 \text{ t/m}^3$  karena campuran dalam volume mixer sebesar 200 liter didapat berat semen yang ditentukan sebesar 31,66 kg.

3. Berdasarkan berat semen dan berat jenis semen, didapat volume cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dengan komposisi volume semen sebesar 10,05 liter dan dari volume mixer (200 liter), maka volume air didapat sebesar 189,95 liter.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Anonimous. 1979. *Studi Kelayakan Bendungan/Waduk Nipa-Madura*, Kantor Wilayah Pekerjaan Umum, Jawa Timur.
- 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.