

**TEKNIK PENGUJIAN TEKANAN AIR PADA PEKERJAAN *GROUTING*
PROYEK BENDUNGAN/WADUK NIPAH
MADURA-JAWA TIMUR**

I Made Udiana^{*)}

ABSTRAK

Injeksi semen bertekanan (*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 memperkirakan jumlah cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dan proporsi campuran susu/bubur semen (*cement milk*). Di samping untuk menentukan kemungkinan dapat dilaksanakan *grouting* atau juga melihat apakah batuan/tanah yang diinjeksi/disuntik cukup aman pada tekanan *grouting* yang diberikan nantinya, juga dimaksudkan untuk menentukan besarnya angka kelulusan air dalam batuan/tanah (*lugeon value*) serta untuk mengetahui besarnya angka koefisien permeabilitas dalam batuan tersebut yang nantinya akan dipergunakan untuk menentukan kepekatan campuran bubuk semen yang dipakai dalam pelaksanaan injeksi semen bertekanan (*grouting*).

Hasil dan pembahasan ternyata dari hasil perhitungan pada P.1 *stage* pertama angka lugeon (Lv) = 31,534 lt/menit/m', P.2 *stage* kedua Lv = 31.822 lt/menit/m', S.1 *stage* pertama Lv = 31.373 lt/menit/m', S.2 *stage* kedua Lv = 31.525 lt/menit/m', T.1 *stage* pertama Lv = 53.644 lt/menit/m' dan T.2 *stage* kedua Lv = 51.955 lt/menit/m', ini dapat diambil hasil kesimpulan bahwa besarnya angka lugeon (Lv) untuk semua *stage* > 15,000 lugeon. Dengan demikian, maka dapat ditentukan bahwa besarnya kepekatan campuran bubuk sementasi adalah dengan perbandingan 6 : 1.

Kata kunci: *grouting, water pressure test, lugeon value*

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 km².

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 sarannya 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 m³, 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 (*grouting*) yang menjadi materi penelitian, terutama teknik pengujian tekanan air (*water pressure test*). Injeksi semen bertekanan (*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. 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 pasir. Batu-batu tersebut umumnya bersifat agak keras, kompak dan mempunyai angka kelulusan air berkisar antara 0,01 sampai dengan 112,90 lugion.

Tujuan dari penelitian ini, adalah untuk memperkirakan jumlah cairan injeksi (*grout*) yang diperlukan dan proporsi campuran susu/bubur semen (*cement milk*). Di samping untuk menentukan kemungkinan dapat dilaksanakan *grouting* atau juga melihat apakah batuan/tanah yang diinjeksi/disuntik cukup aman pada tekanan *grouting*

yang diberikan nantinya, juga dimaksudkan untuk menentukan besarnya angka kelulusan air dalam batuan/tanah (*lugeon value*) serta untuk mengetahui besarnya angka koefisien permeabilitas dalam batuan tersebut yang nantinya akan dipergunakan untuk menentukan kepekatan campuran bubuk semen yang dipakai dalam pelaksanaan injeksi semen bertekanan (*grouting*).

MATERI DAN METODE

Tempat Penelitian

Tempat penelitian di lokasi rencana Bendungan/Waduk Nipah yang terletak ± 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.

Bahan dan Alat penelitian

Bahan yang dipergunakan untuk cairan injeksi (bubur sementasi) 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 tempratur di atas 30C tidak boleh dipergunakan dengan maksud untuk membatasi kenaikan tempratur dalam *grouting*.

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

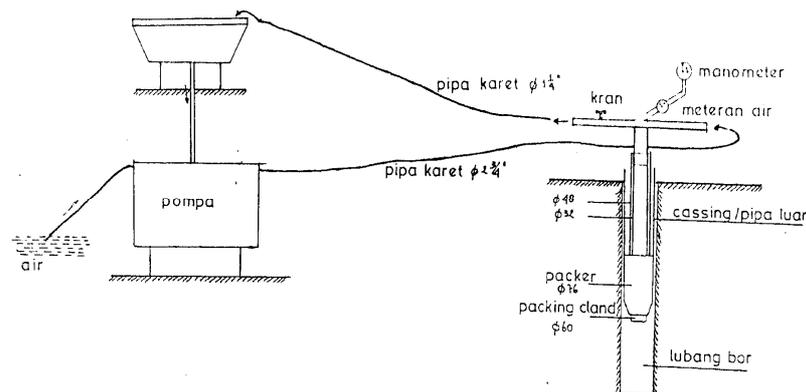
Bahan ini terutama dipergunakan untuk menanggulangi kebocoran permukaan yang cukup besar. Bila sasat ini pelaksanaan grouting terjadi kebocoran permukaan, maka grouting dihentikan dan tempat yang bocor ditutup dengan campuran pasir dan semen.

Pasir harus bersih dari berbutir sama dan bila dites pada ayakan BS 812, butir-butir tidak akan melampaui batasan-batasan.

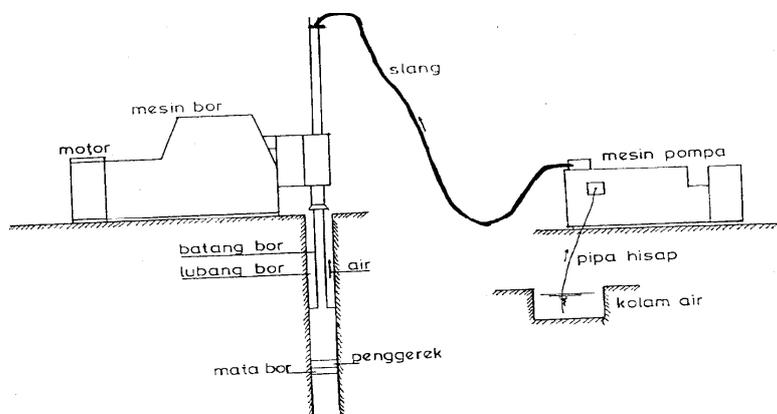
4. Bentonite

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.

Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah 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. Untuk grouting menggunakan alat seperti: bagian pencampur (*mixer*), bagian pengaduk (*agitator*) dan bagian pompa sementasi (*grout pumps*). Sketsa alat uji tekanan air sesuai yang terlihat pada Gambar 1 dan sketsa mesin bor tipe rotasi sesuai Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 1. Sketsa Uji Tekanan Air (*Water Pressure Test*)



Gambar 2. Sketsa Mesin Bor Tipe Rotasi (*Rotary Type Drills*)

Data dan Model Pengujian

Data hipotetik karakteristik karakteristik fisik Bendungan/Waduk Nipah adalah sebagai berikut:

Karakteristik waduk:

1. Kapasitas/volume waduk pada elevasi ± 45.00 m = $\pm 3,0$ juta m^3
2. Luas genangan pada volume 3,0 juta m^3 = $\pm 75,0$ Ha
3. Luas genangan pada banjir rencana = $\pm 150,0$ Ha
4. Banjir rencana pelimpah Q_{200} = 310,0 m^3/dtk
5. Banjir rencana tinggi bendungan $1,2 \times Q_{1000}$ = 414,0 m^3/dtk

Tipe dari pelimpah:

1. Pelimpah bebas = berbentuk corong
2. Lebar pada mercu pelimpah = 30,0 m
3. Lebar pada kolam olakan = 16,0 m
4. Elevasi mercu pelimpah = + 45,0 m

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^2 untuk *stage* pertama, sedangkan untuk *stage* selanjutnya tekanan dapat diperbesar sesuai dengan kedalaman lubang, yaitu tidak melampaui 0,15 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.

Adapun dasar-dasar perumusan yang dipergunakan untuk menghitung besarnya angka kelulusan air dalam batuan (*lugeon value*) serta koefisien permeabilitas dalam batuan tersebut didasarkan pada rumus-rumus sebagai berikut:

- *Lugeon value (Lv)*:

$$Lv = \frac{10 \cdot Q}{P \cdot L} (\text{lt / menit / meter} - 10 \text{ Atm}) \dots\dots\dots(1).$$

Di mana:

Lv = angka lugeon yang akan dicari (lt/menit/meter – 10 Atm)

Q = debit air yang digunakan (lt/menit)

P = tekanan yang digunakan (kg/cm²)

L = kedalaman pengukuran (m')

1 Lugeon = 1 liter/menit/meter dengan tekanan 10 Atm.

- *Koefisien Permeabilitas (K)*

$$K = \frac{2,3 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot H} \cdot \text{Log} \frac{L}{R} (\text{cm} / \text{dt}) \dots\dots\dots(2).$$

Di mana:

K = angka koefisien permeabilitas yang dicari (cm/dtk)

Q = debit air yang digunakan (cm³/dt)

L = kedalaman pengukuran (cm')

H = *differential head of water = H gravity + H pressure*

R = jari-jari lubang bor (cm')

HASIL DAN PEMBAHASAN

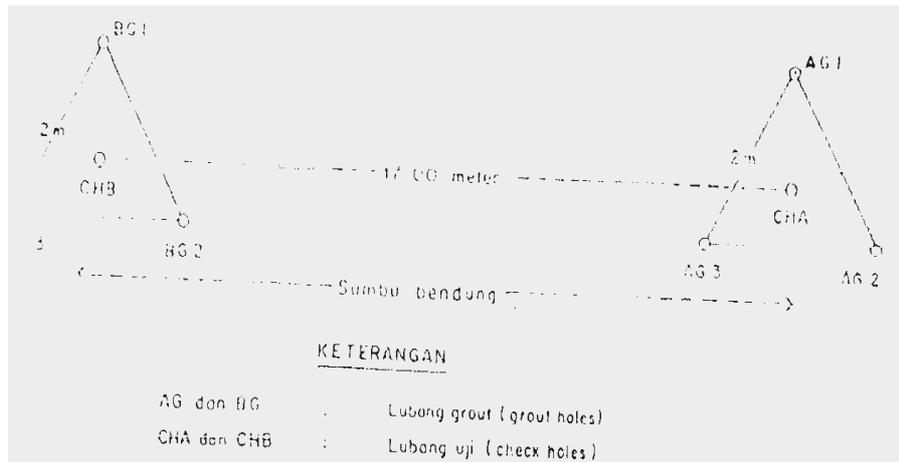
Sehubungan dengan pelaksanaan pekerjaan grouting pada pondasi bendungan, maka sebelumnya perlu dilakukan *grouting test*.

Pekerjaan grouting test ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran dan beberapa estimasi yang diperlukan dalam pelaksanaan grouting nantinya, antara lain:

- Menentukan jenis antar lubang grout yang paling efektif, untuk kepentingan pelaksanaan grouting sebenarnya
- Dapat menetapkan tekanan maksimum sebagai tekanan injeksi yang paling efektif dalam pelaksanaan grouting nantinya
- Menetapkan bahan grout yang akan dipakai dan campurannya.

Dalam pelaksanaan pekerjaan grouting test ini direncanakan tiga lubang grout berbentuk segitiga sama sisi dengan jarak masing-masing lubang $L = 2,0$ meter. Pada bagian tengah dari ketiga lubang grout tersebut kemudian dibuat lubang uji (*check hole*).

Adapun pola grouting test yang dilakukan pada lokasi A dan B seperti pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Pola Grouting test di Lokasi A dan B (tanpa skala)

Kedalaman masing-masing lubang grout adalah $\pm 15,0$ m, yaitu sampai mencapai batuan dasar, sedangkan lubang uji dilakukan lebih dalam 5,0 m dari lunag grout, yaitu $\pm 20,0$ m. dalam pelaksanaan grouting test tiap lubang grout dilakukan secara bertahap dari atas ke bawah. Tiap tahapnya dilakukan dengan panjang 5,0 m ke dalaman sehingga untuk tiap lubang grout dilaksanakan dalam tiga tahap (3 stages). Untuk lubang uji dilakukan grouting dari bawah ke atas yang pelaksanaannya setelah ke tiga grout diselesaikan. Foto Pembuatan Lubang Uji Teklanan Air Pada Lubang *P.1 Stage* Pertama dapat dilihat pada foto di bawah ini.

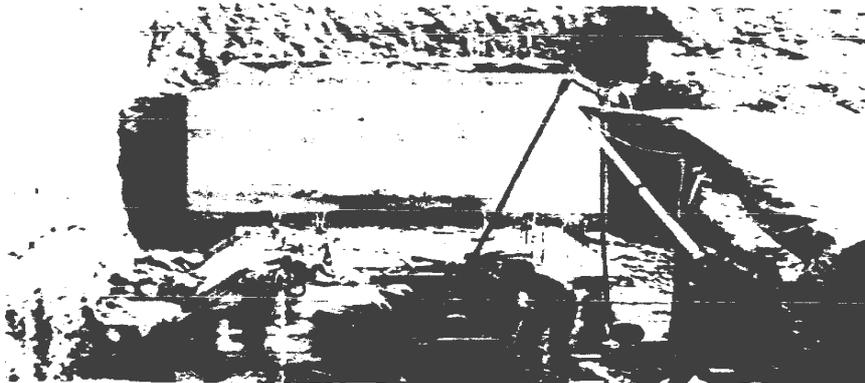


Foto Pembuatan Lubang Uji Tekanan Air Pada Lubang *P.1 Stage Pertama*

Berikut ini disampaikan perhitungan angka lugeon dan koefisien permeabilitas pada pengukuran 5 menit pertama sampai pada pengukuran 5 menit kelima:

1. Pada nomor lubang *P.1 (Primer 1) stage pertama*

Tabel 1. Perhitungan Angka Lugeon *P.1 stage pertama*

| Pengukuran | P | Q | L | t | R | Lv | Ket. |
|-----------------|--------------------|---------|-------|-------|-------|---------------|------|
| | kg/cm ² | ltr/mnt | m | menit | cm' | lt/mnt/m' | |
| 5 menit pertama | 0.667 | 9.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 27.586 | 10 |
| 5 menit kedua | 1.167 | 18.400 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 31.534 | Atm |
| 5 menit ketiga | 1.667 | 25.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 30.234 | Ø |
| 5 menit keempat | 1.167 | 18.000 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 30.848 | 76 |
| 5 menit kelima | 0.667 | 9.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 27.586 | mm |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011.

Tabel 2. Perhitungan Koefisien Permeabilitas *P.1 stage pertama*

| Pengukuran | Q.1000/60 | L | R | H | Log (L/R) | K | Ket. |
|-----------------|----------------------|-----|-------|--------|-----------|------------------|------|
| | cm ³ /dtk | cm' | cm' | P.1000 | | cm/dtk | |
| 5 menit pertama | 153.333 | 500 | 3.800 | 667 | 2.119 | 0.0003568 | 2.30 |
| 5 menit kedua | 306.667 | 500 | 3.800 | 1167 | 2.119 | 0.0004079 | 3.14 |
| 5 menit ketiga | 420.000 | 500 | 3.800 | 1667 | 2.119 | 0.0003911 | |
| 5 menit keempat | 300.000 | 500 | 3.800 | 1167 | 2.119 | 0.0003990 | |
| 5 menit kelima | 153.333 | 500 | 3.800 | 667 | 2.119 | 0.0003568 | |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011.

2. Pada nomor lubang *P.2 (Primer 2) stage kedua*

Tabel 3. Perhitungan Angka Lugeon *P.2 Stage kedua*

| Pengukuran | P | Q | L | t | R | Lv | Ket. |
|-----------------|--------------------|---------|-------|-------|-------|---------------|------|
| | kg/cm ² | ltr/mnt | m | menit | cm' | lt/mnt/m' | |
| 5 menit pertama | 0.668 | 9.300 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 27.844 | 10 |
| 5 menit kedua | 1.169 | 18.600 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 31.822 | Atm |
| 5 menit ketiga | 1.670 | 25.500 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 30.539 | Ø |
| 5 menit keempat | 1.171 | 18.400 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 31.426 | 76 |
| 5 menit kelima | 0.672 | 9.700 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 28.869 | mm |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011.

Tabel 4. Perhitungan Koefisien Permeabilitas *P.2* *Stage* kedua

| Pengukuran | Q.1000/60 | L | R | H | Log (L/R) | K | Ket. |
|-----------------|----------------------|-----|-------|--------|-----------|------------------|------|
| | cm ³ /dtk | cm' | cm' | P.1000 | | cm/dtk | |
| 5 menit pertama | 155.000 | 500 | 3.800 | 668 | 2.119 | 0.0003602 | 2.30 |
| 5 menit kedua | 310.000 | 500 | 3.800 | 1169 | 2.119 | 0.0004116 | 3.14 |
| 5 menit ketiga | 425.000 | 500 | 3.800 | 1670 | 2.119 | 0.0003950 | |
| 5 menit keempat | 306.667 | 500 | 3.800 | 1171 | 2.119 | 0.0004065 | |
| 5 menit kelima | 161.667 | 500 | 3.800 | 672 | 2.119 | 0.0003734 | |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011.

3. Pada nomor lubang *S.1* (*Sekunder 1*) *stage* pertama.

Tabel 5. Perhitungan Angka Lugeon *S.1* *Stage* pertama

| Pengukuran | P | Q | L | t | R | Lv | Ket. |
|-----------------|--------------------|---------|-------|-------|-------|---------------|------|
| | kg/cm ² | ltr/mnt | m | menit | cm' | lt/mnt/m' | |
| 5 menit pertama | 0.673 | 9.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 27.340 | 10 |
| 5 menit kedua | 1.173 | 18.400 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 31.373 | Atm |
| 5 menit ketiga | 1.673 | 25.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 30.126 | Ø |
| 5 menit keempat | 1.173 | 18.000 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 30.691 | 76 |
| 5 menit kelima | 0.673 | 9.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 27.340 | mm |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011.

Tabel 6. Perhitungan Koefisien Permeabilitas *S.1* *Stage* pertama

| Pengukuran | Q.1000/60 | L | R | H | Log (L/R) | K | Ket. |
|-----------------|----------------------|-----|-------|--------|-----------|------------------|------|
| | cm ³ /dtk | cm' | cm' | P.1000 | | cm/dtk | |
| 5 menit pertama | 153.333 | 500 | 3.800 | 673 | 2.119 | 0.0003537 | 2.30 |
| 5 menit kedua | 306.667 | 500 | 3.800 | 1173 | 2.119 | 0.0004058 | 3.14 |
| 5 menit ketiga | 420.000 | 500 | 3.800 | 1673 | 2.119 | 0.0003897 | |
| 5 menit keempat | 300.000 | 500 | 3.800 | 1173 | 2.119 | 0.0003970 | |
| 5 menit kelima | 153.333 | 500 | 3.800 | 673 | 2.119 | 0.0003537 | |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011.

4. Pada nomor lubang S.2 (*Sekunder 2*) stage kedua

Tabel 7. Perhitungan Angka Lugeon S.2 Stage kedua

| Pengukuran | P | Q | L | t | R | Lv | Ket. |
|-----------------|--------------------|---------|-------|-------|-------|---------------|------|
| | kg/cm ² | ltr/mnt | m | menit | cm' | lt/mnt/m' | |
| 5 menit pertama | 0.679 | 9.300 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 27.393 | 10 |
| 5 menit kedua | 1.180 | 18.600 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 31.525 | Atm |
| 5 menit ketiga | 1.681 | 25.500 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 30.339 | Ø |
| 5 menit keempat | 1.182 | 18.400 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 31.134 | 76 |
| 5 menit kelima | 0.683 | 9.700 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 28.404 | mm |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011.

Tabel 8. Perhitungan Koefisien Permeabilitas S.2 Stage kedua

| Pengukuran | Q.1000/60 | L | R | H | Log (L/R) | K | Ket. |
|-----------------|----------------------|-----|-------|--------|-----------|------------------|------|
| | cm ³ /dtk | cm' | cm' | P.1000 | | cm/dtk | |
| 5 menit pertama | 155.000 | 500 | 3.800 | 679 | 2.119 | 0.0003543 | 2.30 |
| 5 menit kedua | 310.000 | 500 | 3.800 | 1180 | 2.119 | 0.0004078 | 3.14 |
| 5 menit ketiga | 425.000 | 500 | 3.800 | 1681 | 2.119 | 0.0003925 | |
| 5 menit keempat | 306.667 | 500 | 3.800 | 1182 | 2.119 | 0.0004027 | |
| 5 menit kelima | 161.667 | 500 | 3.800 | 683 | 2.119 | 0.0003674 | |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011.

5. Pada nomor lubang T.1 (*Tersier 1*) stage pertama

Tabel 9. Perhitungan Angka Lugeon T.1 Stage pertama

| Pengukuran | P | Q | L | t | R | Lv | Ket. |
|-----------------|--------------------|---------|-------|-------|-------|---------------|------|
| | kg/cm ² | ltr/mnt | m | menit | cm' | lt/mnt/m' | |
| 5 menit pertama | 0.685 | 9.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 26.861 | 10 |
| 5 menit kedua | 0.686 | 18.400 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 53.644 | Atm |
| 5 menit ketiga | 1.188 | 25.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 42.424 | Ø |
| 5 menit keempat | 1.690 | 18.000 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 21.302 | 76 |
| 5 menit kelima | 1.192 | 9.200 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 15.436 | mm |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011

Tabel 10. Perhitungan Koefisien Permeabilitas *T.1* Stage pertama

| Pengukuran | Q.1000/60 | L | R | H | Log (L/R) | K | Ket. |
|-----------------|----------------------|-----|-------|--------|-----------|------------------|------|
| | cm ³ /dtk | cm' | cm' | P.1000 | | cm/dtk | |
| 5 menit pertama | 153.333 | 500 | 3.800 | 685 | 2.119 | 0.0003475 | 2.30 |
| 5 menit kedua | 306.667 | 500 | 3.800 | 686 | 2.119 | 0.0006939 | 3.14 |
| 5 menit ketiga | 420.000 | 500 | 3.800 | 1188 | 2.119 | 0.0005488 | |
| 5 menit keempat | 300.000 | 500 | 3.800 | 1690 | 2.119 | 0.0002756 | |
| 5 menit kelima | 153.333 | 500 | 3.800 | 1192 | 2.119 | 0.0001997 | |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011

6. Pada nomor lubang *T.2 (Tersier 1)* stage kedua

Tabel 11. Perhitungan Angka Lugeon *T.2* Stage kedua

| Pengukuran | P | Q | L | t | R | Lv | Ket. |
|-----------------|--------------------|---------|-------|-------|-------|---------------|------|
| | kg/cm ² | ltr/mnt | m | menit | cm' | lt/mnt/m' | |
| 5 menit pertama | 0.705 | 9.300 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 26.383 | 10 |
| 5 menit kedua | 0.716 | 18.600 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 51.955 | Atm |
| 5 menit ketiga | 1.228 | 25.500 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 41.531 | Ø |
| 5 menit keempat | 1.740 | 18.400 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 21.149 | 76 |
| 5 menit kelima | 1.252 | 9.700 | 5.000 | 5.000 | 3.800 | 15.495 | mm |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011

Tabel 12. Perhitungan Koefisien Permeabilitas *T.2* Stage kedua

| Pengukuran | Q.1000/60 | L | R | H | Log (L/R) | K | Ket. |
|-----------------|----------------------|-----|-------|--------|-----------|------------------|------|
| | cm ³ /dtk | cm' | cm' | P.1000 | | cm/dtk | |
| 5 menit pertama | 155.000 | 500 | 3.800 | 705 | 2.119 | 0.0003413 | 2.30 |
| 5 menit kedua | 310.000 | 500 | 3.800 | 716 | 2.119 | 0.0006721 | 3.14 |
| 5 menit ketiga | 425.000 | 500 | 3.800 | 1228 | 2.119 | 0.0005372 | |
| 5 menit keempat | 306.667 | 500 | 3.800 | 1740 | 2.119 | 0.0002736 | |
| 5 menit kelima | 161.667 | 500 | 3.800 | 1252 | 2.119 | 0.0002004 | |

Sumber: Hasil Perhitungan, 2011

SIMPULAN

1. Ternyata dari hasil perhitungan pada *P.1 stage* pertama ini dapat diambil hasil kesimpulan bahwa besarnya angka lugeon (L_v) adalah sebesar 31,534 lt/menit/m' pada 10 atm dan koefisien permeabilitas (K) adalah sebesar 0,0004079 cm/detik. Dengan demikian, maka dapat ditentukan bahwa besarnya kepekatan campuran bubuk sementasi yang pertama adalah 6 : 1 karena angka lugeon (L_v) = 31,534 > 15,000 lugeon.
2. Ternyata dari hasil perhitungan pada *P.2 stage* kedua ini dapat diambil hasil kesimpulan bahwa besarnya angka lugeon (L_v) adalah sebesar 31.822 lt/menit/m' pada 10 atm dan koefisien permeabilitas (K) adalah sebesar 0.0004116 cm/detik. Dengan demikian, maka dapat ditentukan bahwa besarnya kepekatan campuran bubuk sementasi yang pertama adalah 6 : 1 karena angka lugeon (L_v) = 31.822 > 15,000 lugeon.
3. Ternyata dari hasil perhitungan pada *S.1 stage* pertama ini dapat diambil hasil kesimpulan bahwa besarnya angka lugeon (L_v) adalah sebesar 31.373 lt/menit/m' pada 10 atm dan koefisien permeabilitas (K) adalah sebesar 0.0004058 cm/detik. Dengan demikian, maka dapat ditentukan bahwa besarnya kepekatan campuran bubuk sementasi yang pertama adalah 6 : 1 karena angka lugeon (L_v) = 31.373 > 15,000 lugeon.
4. Ternyata dari hasil perhitungan pada *S.2 stage* kedua ini dapat diambil hasil kesimpulan bahwa besarnya angka lugeon (L_v) adalah sebesar 31.525 lt/menit/m' pada 10 atm dan koefisien permeabilitas (K) adalah sebesar 0.0004078 cm/detik. Dengan demikian, maka dapat ditentukan bahwa besarnya kepekatan campuran bubuk sementasi yang pertama adalah 6 : 1 karena angka lugeon (L_v) = 31.525 > 15,000 lugeon.
5. Ternyata dari hasil perhitungan pada *T.1 stage* pertama ini dapat diambil hasil kesimpulan bahwa besarnya angka lugeon (L_v) adalah sebesar 53.644 lt/menit/m' pada 10 atm dan koefisien permeabilitas (K) adalah sebesar 0.0006939 cm/detik. Dengan demikian, maka dapat ditentukan bahwa besarnya kepekatan campuran

bubur sementasi yang pertama adalah 6 : 1 karena angka lugeon (Lv) = 53.644 > 15,000 lugeon.

6. Ternyata dari hasil perhitungan pada *T.2 stage* kedua ini dapat diambil hasil kesimpulan bahwa besarnya angka lugeon (Lv) adalah sebesar 51.955 lt/menit/m' pada 10 atm dan koefisien permeabilitas (K) adalah sebesar 0.0006721 cm/detik. Dengan demikian, maka dapat ditentukan bahwa besarnya kepekatan campuran bubuk sementasi yang pertama adalah 6 : 1 karena angka lugeon (Lv) = 51.955 > 15,000 lugeon.

DAFTAR PUSTAKA

Anonimous. 1974. *Desain Of Small Dams*, United States Departement Of Interior Bureau of Reclamations Oxford, IGH Publishing Co, New Delhi, Bombay, Calcuta.

Hamdani M.1979. *Grouting Pada Pondasi Bangunan Air*, Seksi Geologi Teknik, DPMA, Jakarta.

Sosrodarsono, S. dkk.1981. *Bendungan Tipe Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta.

Chow V.T. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*, Erlangga, Jakarta.