TUGAS AKHIR

PENGGUNAAN SEMENTASI PADA PONDASI BENDUNGAN

(Tinjauan Khusus Sementasi Tirai Pada Proyek Waduk Sermo)

Oleh :

SAMSUL HADI

NO. MHS : 89310065
N I R M : 890051013114120064

SANTY ANANTASARI RATNADEWI

NO. MHS : 89310010
N I R M : 890051013114120011

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

1996

TUGAS AKHIR

PENGGUNAAN SEMENTASI PADA PONDASI BENDUNGAN

(Tinjauan Khusus Sementasi Tirai Pada Proyek Waduk Sermo)

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk
memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil

Oleh :

SAMSUL HADI

NO. MHS : 89310065
N I R M : 890051013114120064

SANTY ANANTASARI RATNADEWI

NO. MHS : 89310010
N I R M : 890051013114120011

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1996

PRAKATA

Puji Syukur kepada Allah SWT, karena akhirnya atas kuasa dan kehendakNya tugas akhir ini dapat selesai pada waktunya.

Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menempuh ujian sarjana pada Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik Sipil, universitas Islam Indonesia.

Tugas Akhir ini mengambil topik sementasi tirai pada pondasi bendungan dengan studi kasus pada pembangunan waduk Sermo. Materi yang dibahas antara lain mengenai kedalaman sementasi dengan menggunakan teori rembesan dan rasio semen air dibandingkan dengan yang dilaksanakan dilapangan.

Tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Indonesia.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Ir. Endang Tantrawati,MT, selaku pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Ruzardi,MS, selaku pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.

5. Bapak Ir. Tri Harjun Ismaji,MSC, selaku Pemimpin Proyek Pembangunan Waduk Sermo.
6. Bapak Ir. FA. Dirman.J, selaku manajer Proyek Waduk Sermo.
7. Bapak Ir Tri Fajar B, yang telah banyak membantu tugas akhir ini.
8. Kedua Orang Tua, Kakak dan Adik yang telah memberikan dorongan baik secara moril maupun materiil.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu terwujudnya tugas akhir ini.

Dengan tidak mengurangi penghargaan kepada mereka yang disebutkan namanya, penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangannya. Untuk itu penulis mengharapkan saran-saran perbaikan dari berbagai pihak bagi kekurangan-kekurangan yang ada pada tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap mudah-mudahan tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Teknik Sipil pada khususnya.

Yogyakarta, Maret 1996

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PRAKATA iii
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN x
INTISARI xi

BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Pembatasan Masalah 3
1.3 Tujuan Penulisan 4
1.4 Metode Analisis 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Sementasi Tirai 5
2.1.1 Tipe-tipe sementasi pada bendungan 8
2.1.2 Kebutuhan akan sementasi pada bendungan . 10
2.2 Perencanaan Sementasi Tirai 11
2.2.1 Tujuan 11
2.2.2 Target perbaikan 12
2.2.3 Faktor geologi yang berpengaruh pada sementasi 12
2.2.4 Lokasi sementasi pada bendungan 17
2.2.4.1 Bendungan tipe tanggul 17
2.2.4.2 Bendungan beton 19
2.2.5 Dimensi dan arah sementasi tirai pada bendungan 20
2.2.5.1 Kedalaman 21
2.2.5.2 Penentuan jumlah baris 23
2.2.5.3 Inklinasi 24
2.2.5.4 Jarak tiap lubang 25
2.2.6 Rasio semen dan air yang optimum 29
2.2.6.1 Kekuatan dari sementasi 31
2.2.7 Tekanan yang digunakan 32

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Permeabilitas 37
3.1.1 Penentuan koefisien permeabiliitas 37
3.2 Rembesan 45
3.2.1 Persamaan dasar aliran dalam tanah 45
3.2.2 Jaringan Trayektori Aliran Filtrasi ("Seepage Flow net") 51
3.2.3 Kapasitas Aliran Filtrasi 54
3.2.4 Gejala-gejala Sufasi ("piping") dan Sembulan ("boiling") 55

BAB IV TINJAUAN PERENCANAAN SEMENTASI TIRAI PADA WADUK SERMO

4.1 Umum 57
4.2 Jenis dan Dimensi Waduk 58
4.3 Keadaan Geologi Lokasi Waduk Sermo 58
4.4 Desain Sementasi Tirai Waduk Sermo 59
4.4.1 Jarak Tiap Lubang 59
4.4.2 Kedalaman Sementasi Tirai 59
4.4.3 Rasio Semen Dan Air 60

BAB V ANALISIS SEMENTASI TIRAI PADA WADUK SERMO

5.1 Umum 61
5.2 Analisis Kedalaman Sementasi Tirai Dengan Teori Rembesan 61
5.3 Analisis Rasio Semen dan Air 63
5.4 Hasil Hitungan Debit Rembesan Dan Kecepatan Filtrasi pada Pondasi Bendungan 66
5.4.1 Analisis Debit Rembesan Pondasi Bendungan 68
5.4.2 Analisis Kecepatan Filtrasi Pondasi Bendungan 68
5.5 Kehilangan Air Akibat Rembesan Pada Tubuh Bendungan Dan Pondasi Bendungan 69

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN
6.1 Kesimpulan 71
6.2 Saran 72

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

4.1 Perbandingan semen dan air yang disyaratkan pada bendungan Sermo 61

5.1 Perbandingan masing-masing kondisi besarnya debit rembesan dan kecepatan filtrasi 67

5.2 Besarnya debit rembesan pada pondasi sepanjang tubuh bendungan 68

5.3 Kehilangan air total 70

DAFTAR GAMBAR

Gambar — Halaman

2.1 Beberapa macam sementasi pada bendungan 9

2.2 Sketsa faktor-faktor geologi 13

2.3 Penentuan lokasi sementasi tirai 18

2.4 Penentuan lokasi sementasi pada bendungan beton 19

2.5 Penentuan kedalaman sampai lapisan kedap air .. 21

2.6 Jangkauan efektif sementasi 24

2.7 Sementasi pada patahan 25

2.8 Urutan pelaksanaan sementasi tirai 28

2.9 Grafik hubungan rasio semen air dan pengaruhnya 30

2.10 Grafik penentuan tekanan maksimum 34

3.1 Uji permeabilitas laboratorium 41

3.2 Uji pemompaan sumur (well pumping test) 42

3.3 Uji lubang bor 44

3.4 Rembesan melalui suatu elemen tanah 46

3.5 Rembesan antara dua garis aliran 49

3.6 Garis aliran dan garis ekipotensial 51

3.7 Jaringan trayektori aliran filtrasi dalam tubuh bendungan 52

3.8 Gradien rembesan 54

5.1 Grafik hubungan viskositas dengan rasio semen . 64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Halaman

A.1 Flow net tanpa sementasi tirai 74

A.2 Flow net dengan sementasi tirai 1 baris 75

A.3 Flow net dengan sementasi tirai 2 baris 76

A.4 Flow net dengan sementasi tirai 3 baris 77

A.5 Program menghitung debit rembesan dan kecepatan filtrasi dengan menggunakan bahasa basic 78

A6 Perhitungan debit rembesan pada tubuh bendungan 79

Lampiran B

B.1 Rencana umum 81

B.2 Dimensi bendungan 82

B.3 Peta geologi pada lokasi bendungan 83

B.4 Potongan melintang kondisi geologi 84

B.5 Denah sementasi pondasi 85

B.6 Tampang tirai sementasi 86

INTISARI

Penggunaan Sementasi Tirai (Curtain Grouting) untuk penanganan terhadap rembesan dan sembulan pada bendungan merupakan suatu hal yang tidak bisa diabaikan bahkan menjadi sangat penting. Hal ini disebabkan karena sementasi tirai berfungsi membentuk semacam tirai yang kedap air pada lapisan pondasi suatu bendungan sehingga dapat mengurangi debit filtrasi yang melalui pondasi bendungan dengan cara memaksa aliran filtrasi mengalir melalui ujung bawah tirai tersebut. Selain dari pada itu sementasi tirai juga dapat mengurangi gaya keatas dibawah bendungan dan mencegah erosi akibat rembesan yang terjadi pada batuan dasar pondasi.

Pembuatan sementasi tirai haruslah dilaksanakan secara cermat, mengingat bahwa tingkat keamanan suatu bendungan harus tinggi dan waktu operasi yang cukup lama. Analisis Sementasi Tirai pada waduk Sermo ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa jauh pelaksanaan Sementasi di lapangan.

Hasil analisis pada waduk sermo menunjukkan adanya penurunan debit rembesan dan kecepatan filtrasi akibat digunakannya sementasi tirai.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pondasi suatu bendungan menurut Suyono Sosrodarsono (dalam bukunya yang berjudul bendungan tipe urugan) harus memenuhi 3 persyaratan penting, yaitu:

1. Mempunyai daya dukung yang mampu menahan beban tubuh bendungan.
2. Mempunyai kemampuan menghambat filtrasi air yang memadai.
3. Mempunyai ketahanan terhadap gejala erosi akibat rembesan air dan sembulan yang disebabkan oleh filtrasi air yang melalui lapisan-lapisan pondasi tersebut.

Untuk memenuhi ketiga persyaratan di atas, maka kadang-kadang diperlukan perkuatan-perkuatan pondasi. Khususnya untuk syarat yang berhubungan dengan filtrasi air, maka perkuatan-perkuatan pada pondasi dapat dilakukan dengan cara menyuntikkan fluida pengisi ke dalam lapisan tanah dengan tekanan tertentu, yang biasa disebut sementasi.

Perlunya dilakukan perkuatan untuk pondasi bendungan terhadap rembesan dipertegas dengan penelitian yang dilakukan oleh T.A.Middlebrook (1953) yang mempelajari 200 kasus keruntuhan bendungan tanah di Amerika, dengan mengadakan analisis statistik. Ternyata hasil analisis

statistik tersebut menunjukkan bahwa rembesan menempati urutan pertama sebagai penyebab keruntuhan pada bendungan, yakni sebesar 25%.

Beberapa tahun kemudian, USCOLD (United State Commission on Large Dams) mengadakan penelitian terhadap 4918 buah bendungan dengan tinggi lebih dari 14,00 meter.Sebanyak 4% dari bendungan yang dibangun setelah tahun 1930 menunjukkan keadaan yang kurang memuaskan, diantaranya 1,5% atau 74 buah bendungan runtuh. Pada kasus yang 4% tersebut, penyebab utama dari keadaan bendungan yang kurang memuaskan tersebut adalah diakibatkan oleh rembesan. Sedangkan pada kasus bendungan yang runtuh yakni sebanyak 74 buah bendungan, menunjukkan bahwa keruntuhan bendungan tersebut terutama disebabkan permasalahan yang ditimbulkan oleh rembesan yakni sebesar 44%.

Kasus kerusakan dan keruntuhan pada bendungan pada berbagai negara juga dipelajari oleh G.F.Sowers. Hasilnya menunjukkan bahwa rembesan merupakan penyebab kasus terbesar (50%) pada bendungan besar.

Dari data tersebut diatas, maka penanganan yang tepat terhadap permasalahan yang ditimbulkan oleh rembesan pada bendungan haruslah mendapatkan perhatian yang serius.

Ada berbagai metoda yang digunakan untuk menangani permasalahan rembesan pada bendungan. Salah satu metoda yang sering digunakan adalah pemakaian sementasi tirai . Dengan sementasi tirai ini diharapkan masalah rembesan pada bendungan dapat diatasi. Tetapi ada banyak aspek yang

harus diperhatikan dengan seksama dan diperlukan keahlian dalam pelaksanaan pekerjaan sementasi tirai ini.

Pelaksanaan sementasi yang kurang memadai akan mengakibatkan kebocoran-kebocoran pada masa pemakaian waduk yang bersangkutan, dan perbaikannya akan sulit serta membutuhkan pembiayaan yang besar. Dilain pihak apabila pelaksanaanya terlalu berlebihan serta menggunakan tekanan-tekanan injeksi yang terlalu tinggi, akan mengakibatkan kerusakan-kerusakan yang lebih parah lagi terhadap lapisan pondasi tersebut.

Sehubungan dengan persoalan-persoalan tersebut di atas dan agar didapatkan hasil yang memenuhi persyaratan, maka dalam persiapan pelaksanaan pekerjaan sementasi diperlukan perhatian terhadap hal-hal berikut ini :

1. Penyelidikan dan analisa geologi, maupun mekanika tanah pada pondasi.
2. Pelaksanaan pekerjaan sementasi hendaknya diawasi oleh ahli-ahli yang sudah berpengalaman.
3. Pemilihan metoda pelaksanaan sementasi yang paling sesuai untuk kondisi tersebut.

Demikian pula pengalaman-pengalaman pada bendungan-bendungan yang telah dibangun dapat pula menjadi bahan pertimbangan.

1.2 Pembatasan Masalah

Mengingat pentingnya perkuatan pondasi bagi keamanan dan efektivitas sebuah bendungan, maka pada tugas akhir ini kami akan membahas mengenai peranan sementasi tirai

sebagai salah satu metoda untuk mengatasi permasalahan rembesan.

Pada Tugas Akhir ini permasalahan dibatasi pada:

1. Bendungan tipe urugan.
2. Analisis rembesan yang terjadi sepanjang bendungan.

1.3 Tujuan Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh sementasi tirai terhadap rembesan dan kecepatan filtrasi pada pondasi bendungan.

1.4 Metode Analisis

Penyusunan penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dengan pendekatan dari :

1. Studi kepustakaan, yaitu mempelajari buku, bahan-.lh16 bahan kuliah dan artikel-artikel yang berkaitan dengan sementasi tirai.
2. Menganalisis data yang mendukung untuk penulisan Tugas Akhir ini yaitu data koefisien permeabilitas tanah dan detail perencanaan proyek pembangunan Waduk Sermo.
3. Mengambil kesimpulan dari teori dan analisis dalam proyek pembangunan Waduk Sermo.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sementasi Tirai

Untuk menyelesaikan persoalan yang dihadapi dalam permasalahan pondasi, hendaknya mempertimbangkan kemungkinan penyelesaian dengan sementasi, yakni metode penyuntikan fluida dengan tekanan tertentu ke dalam lapisan tanah. Fluida yang disuntikkan tersebut dapat berupa campuran semen, air, pasir, bentonite atau bahan isian lain, juga dapat berupa bahan kimia.

Proses penyuntikan cairan fluida dengan menggunakan pompa kedalam tanah yang kemudian akan mengeras ini berdampak pada peningkatan karakteristik mekanik lapisan tanah (konsolidasi) atau pada penurunan nilai permeabilitas pada lapisan tanah.

Dari hal-hal yang dijelaskan di atas, dengan penggunaan metoda penyuntikan cairan fluida dimungkinkan untuk:

1 . Menciptakan daerah yang kedap air di bawah lapisan tanah atau disekitar bangunan struktur, dengan tujuan: menciptakan keadaan media yang permeable (sebagai contoh dalam kasus bendungan diperlukan daerah yang cukup kedap air pada bagian atas lapisan tanah di bawah struktur bendungan untuk mengurangi rembesan dan erosi pada lapisan tanah akibat rembesan).
2 . Mengkonsolidasikan lapisan tanah pondasi dan dikombinasikan dengan sejumlah daerah kedap air.

Dengan proses ini diharapkan kekuatan dari tanah meningkat, baik
untuk tujuan penggalian terowongan ataupun untuk meningkatkan daya dukung tanah sehingga struktur konstruksi diatasnya tidak mengalami penurunan yang berlebihan.

Pada kesempatan ini, yang akan dibahas adalah metoda penyuntikan dengan menggunakan bahan semen, air dan bentonit yang diterapkan dalam pelaksanaan sementasi tirai ("curtain grouting") pada bendungan.

Sementasi pada batuan dasar pondasi sangat penting, untuk memberikan keamanan yang cukup pada bendungan terhadap bahaya geser, perubahan bentuk ("deformasi") dan terhadap bahaya rembesan air. Oleh karena itu, keperluan untuk melakukan perkuatan pondasi secara tepat tergantung dari kondisi geologi pondasi bendungan, tipe dan dimensi bendungan.

Sementasi untuk pondasi bendungan dilakukan untuk membatasi rembesan air pada hubungan bagian-bagian antara batuan dasar pondasi dan tubuh bendungan juga untuk memperbaiki kebocoran batuan dasar pondasi akibat retakan-retakan, penggalian atau semacamnya. Penjelasan langsung semua tahapan sementasi secara terperinci, baik survey,perencanaan maupun pelaksanaan pekerjaan sangatlah rumit, sehingga desain pelaksanaan secara tepat dari sementasi tidaklah mudah. Oleh karena itu, pendekatan coba-coba sering dilaksanakan untuk pekerjaan sementasi ini.

Dalam pelaksanaan sementasi, harus dimengerti dengan baik karakteristik geologi lokasi pembangunan bendungan, sehingga teknik perkuatan pondasi dapat dilaksanakan dengan mudah sesuai dengan karakteristik geologi tempat tersebut.

Tahap-tahap dalam desain sistem sementasi adalah :

1. menentukan luas dan intensitas sementasi,
2. merencanakan rancangan yang sesuai dengan keadaan lapangan,
3. menetapkan standar yang diperlukan untuk mencapai tujuan,
4. menentukan bangunan, material dan metoda yang akan digunakan sehingga akan dapat memenuhi standar yang ditetapkan.

Pada penentuan kebutuhan pelaksanaan pekerjaan sementasi, diperlukan nilai permeabilitas dari suatu daerah yang ditinjau. Nilai permeabilitas suatu lapisan tanah untuk pelaksanaan sementasi biasanya dinyatakan dalam " lugeon unit". Pemakaian unit seperti ini mulai digunakan sejak tahun 1933 oleh Lugeon dan saat ini sangat umum diterapkan oleh ahli sementasi dari Eropa. Proses standarisasi dalam pelaksanaan sementasi sedang diusahakan, oleh sebab itu pemakaian unit inipun telah mulai meluas tidak hanya di Eropa.

Yang dimaksud dengan satu Lugeon adalah penginjeksian 1 liter air permeter lubang permenit dengan tekanan 10 bar (150 psi).Menurut AC.Houlsby penggunaan tekanan senilai itu adalah terlalu besar untuk penggunaan dalam pekerjaan rutin. Oleh sebab itu modifikasi perlu dilakukan dalam

pelaksanaan di lapangan sehingga tekanan yang lebih rendah dapat digunakan.

Nilai 1 "lugeon" (Lu) secara tepat adalah sama dengan $1,3 \times 10^{-5}$ cm/dt.

2.1.1 Tipe-tipe sementasi pada bendungan

1. Sementasi tirai ("Curtain grouting")

   Sementasi tirai bertujuan untuk membentuk suatu tabir kedap air dengan permeabilitas yang rendah serta memperpanjang garis aliran air dibawah tubuh bendungan yang secara tidak langsung mengurangi gaya angkat hidrostatis.

2. Sementasi konsolidasi ("Consolidation grouting")

   Sementasi konsolidasi adalah metoda sementasi yang digunakan, dengan cara menyuntikkan cairan fluida pengisi ke dalam tanah yang dangkal tetapi merata diatas permukaan pondasi, yang tujuannya adalah untuk memperkuat lapisan teratas dari pondasi serta menutup dan merekatkan kembali rekahan-rekahan yang biasanya banyak terdapat pada lapisan teratas batuan. Sementasi konsolidasi pada lapisan batuan juga berguna untuk memperkuat massa batuan dengan mengisi retakan. Dengan demikian mengurangi kemungkinan penurunan tubuh bendungan.

3. Sementasi selimut ("Blanket grouting")

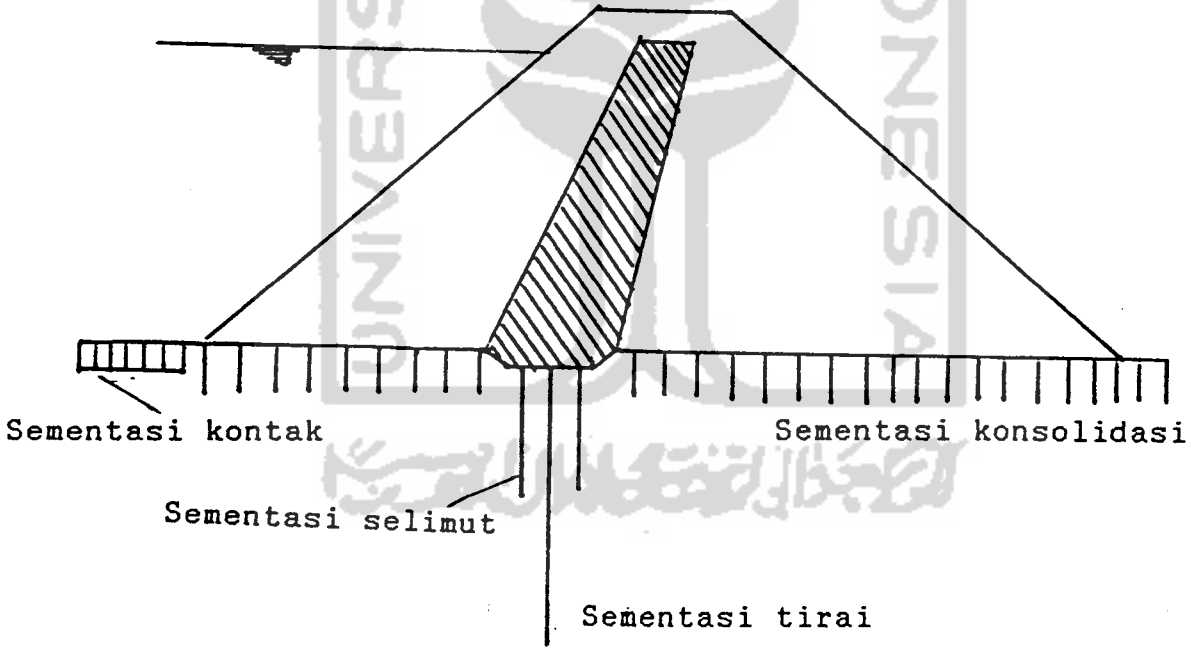
   Sementasi selimut adalah metoda sementasi yang diterapkan pada suatu area dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan dan kapasitas daya dukung tanah serta untuk mengurangi daya tembus air pada bagian permukaan. Daerah yang di sementasi biasanya mempunyai

ukuran yang relatif sama dan biasanya relatif dangkal di dekat permukaan.

4. Sementasi kontak ("Contact grouting")

   Sementasi kontak adalah suntikan cairan fluida yang dilakukan untuk mengisi kekosongan pada bidang kontak antara struktur bendungan dengan tanah sekitarnya.

Gambaran secara umum mengenai jenis sementasi yang diterapkan pada bendungan seperti disebutkan di atas terlihat pada gambar 2.1.



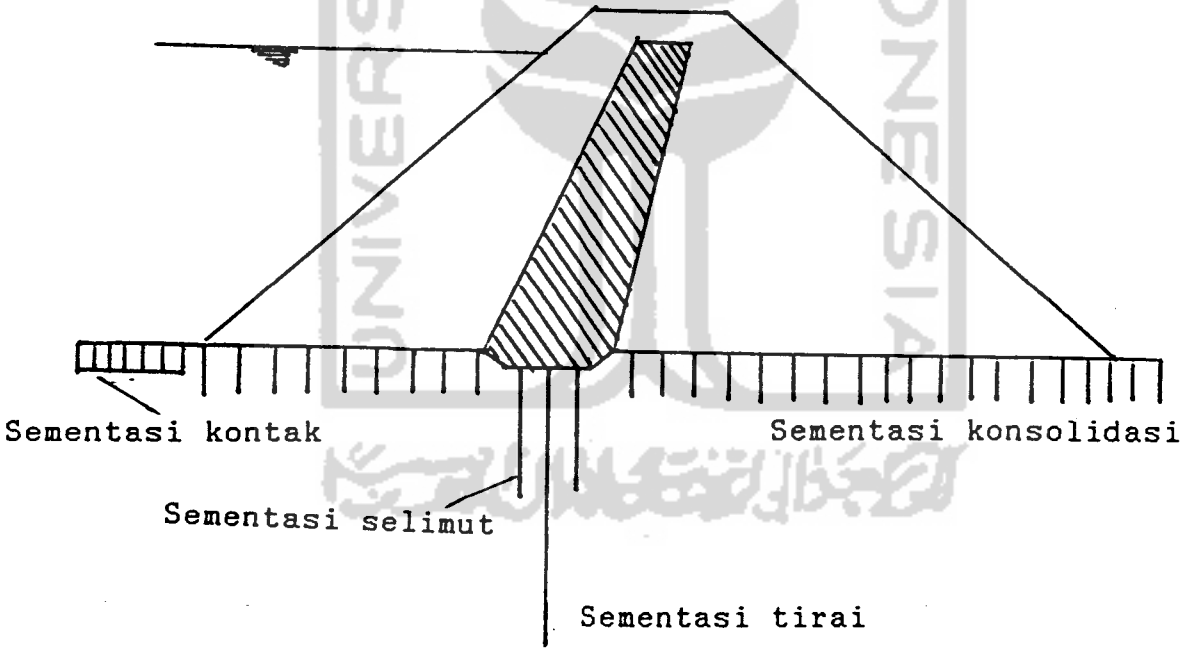
Gambar 2.1. Beberapa macam sementasi pada bendungan

ukuran yang relatif sama dan biasanya relatif dangkal di dekat permukaan.

4. Sementasi kontak ("Contact grouting")

   Sementasi kontak adalah suntikan cairan fluida yang dilakukan untuk mengisi kekosongan pada bidang kontak antara struktur bendungan dengan tanah sekitarnya.

Gambaran secara umum mengenai jenis sementasi yang diterapkan pada bendungan seperti disebutkan di atas terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Beberapa macam sementasi pada bendungan

2.2 Perencanaan Sementasi Tirai

2.2.1 Tujuan

Sementasi tirai dimaksudkan agar dalam lapisan pondasi terbentuk semacam tirai yang kedap air untuk mengurangi debit filtrasi melalui pondasi bendungan dengan cara memaksa aliran filtrasi mengalir melalui ujung bawah tirai tersebut. Karena air filtrasi mengalir melalui ujung bawah tirai tersebut, maka aliran filtrasi menjadi lebih panjang dan kecepatan melemah yang mengakibatkan berkurangnya debit filtrasi yang mengalir keluar bendungan. Disamping itu, akan mengurangi pula gaya ke atas di bawah dasar bendungan (K. Takeda 1977).

Sementasi tirai ini dibuat tepat dibawah daerah kedap air suatu tubuh bendungan yang akan membentuk tirai penghambat aliran air keluar dari waduk.

Sementasi tirai juga berguna untuk mencegah erosi akibat rembesan yang terjadi pada batuan dasar pondasi dengan pembentukan tirai yang kedap air dibawah tubuh bendungan dan disekitar daerah batuan dasar pondasi. Pada bendungan beton, sementasi tirai juga dibuat untuk mengurangi gaya angkat pada bawah tubuh bendungan.

2.2.2 Target perbaikan

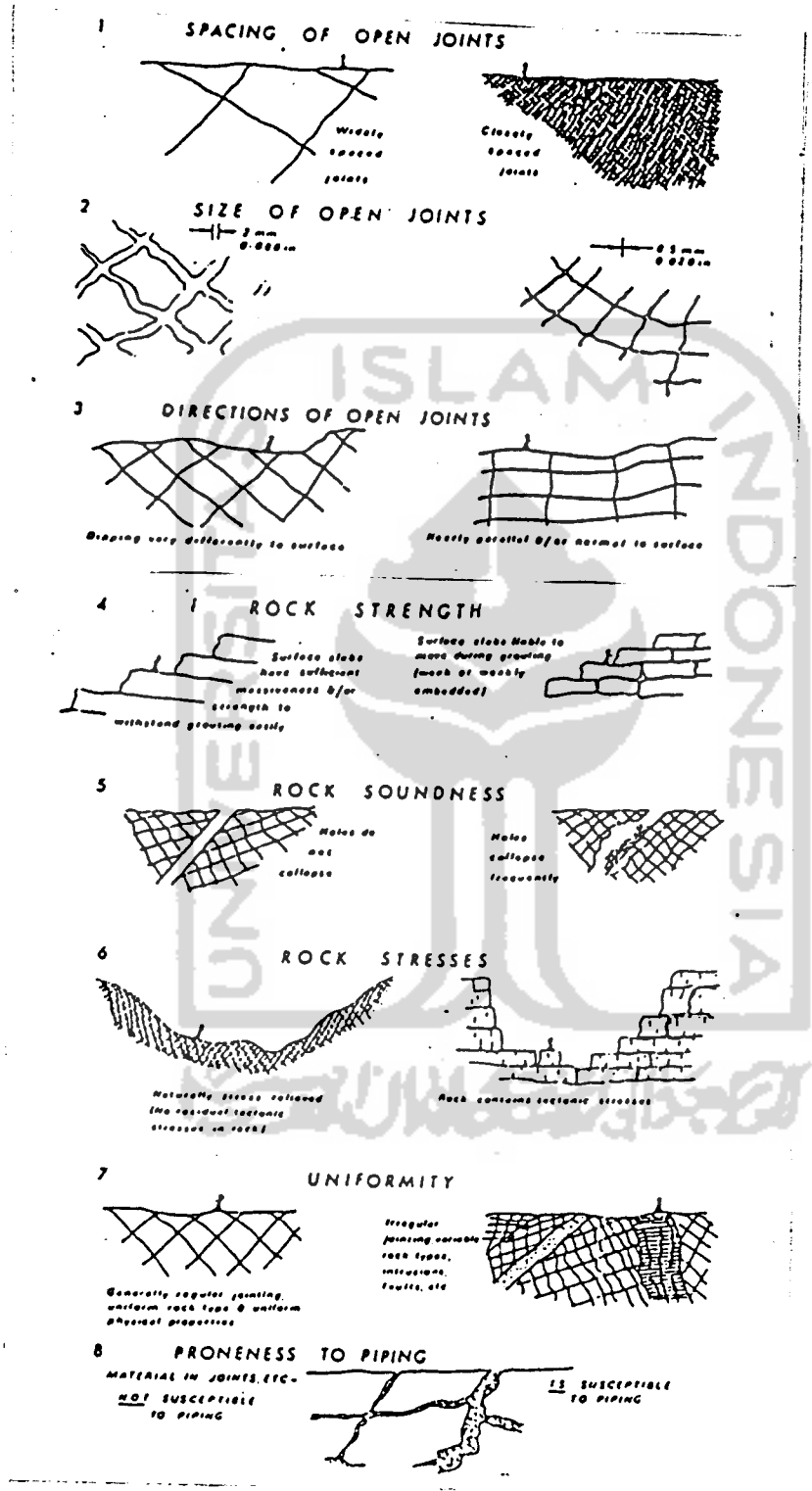
Target perbaikan dari sementasi tirai harus ditentukan dengan memperhatikan secara menyeluruh sifat-sifat batuan dasar dan nilai air yang akan dijaga.

Dalam beberapa kasus, target perbaikan pada sementasi tirai untuk bendungan beton adalah 1 - 2 Lu dan untuk bendungan urugan adalah 2 - 5 Lu. Target perbaikan antara bendungan beton dan bendungan urugan berbeda. Hal ini dikarenakan masing-masing tipe bendungan mempunyai karakteristik perkuatan khusus pada lapisan dasar konstruksi bendungannya (AC.Houlsby 1982).

2.2.3 Faktor geologi yang berpengaruh pada sementasi

Dalam perencanaan pekerjaan sementasi keadaan geologi dilapangan haruslah diperhatikan. Karena keadaan geologi dilapangan dapat memberikan pengaruh yang memudahkan maupun mempersulit pelaksanaan sementasi. Dalam bagian ini akan dijelaskan beberapa aspek keadaan geologi yang mempunyai pengaruh dalam pelaksanaan pekerjaan sementasi. Aspek geologi yang dijelaskan pada bagian ini diberikan untuk tiap keadaan ekstrim. Keadaan di lapangan yang terjadi biasanya berada diantara kedua kondisi ekstrim yang diberikan.

Sketsa dari faktor-faktor geologi yang berpengaruh pada pelaksanaan pekerjaan sementasi digambarkan oleh Houlsby pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Sketsa faktor-faktor geologi (A.C Houlsby)

Keterangan :

1. Faktor jarak dari retakan yang terbuka

Jarak celah-celah dalam tanah dapat bervariasi dari rapat sampai sangat lebar. Umumnya, jarak yang lebar akan mempermudah pengerjaan sementasi. Jarak yang rapat dapat menimbulkan banyak retakan pada permukaan. Tetapi dengan teknik sementasi yang tepat, maka kesulitan-kesulitan tersebut dapat diatasi.

2. Faktor ukuran dari retakan

Retakan dengan lebar lebih dari 2 mm membantu fluida pengisi untuk masuk dengan mudah. Jika retakan sedemikian lebar hingga mencapai 6 mm kemungkinan fluida pengisi akan memasuki retakan dengan sangat lancar maka diperlukan cairan yang lebih kental untuk menghindari fluida pengisi melakukan perjalanan secara berlebihan. Dengan menggunakan beragam aplikasi dari fluida pengisi pada interval ruang yang secukupnya diharapkan fluida pengisi mempunyai waktu untuk mengeras pada tiap bagian.

Pada keadaan ekstrim yang lain apabila lebar retakan kurang dari 0.5 mm maka pengisian retakan oleh fluida pengisi relatif lebih sukar.

3. Faktor arah dari retakan

Arah dari retakan-retakan tersebut juga berpengaruh terhadap kemiringan dari lubang sementasi dan juga pada kemungkinan dari pergerakan batuan selama pelaksanaan sementasi. Retakan dengan kemiringan 30 persen sampai 60 persen dari sumbu vertikal akan mudah dilalui lubang

dengan arah vertikal dan juga kemungkinan besar dari pergerakan batuan adalah tidak seberapa dibandingkan dengan retakan dengan arah yang hampir horisontal ataupun yang hampir vertikal. Retakan dengan arah yang hampir horisontal atau vertikal ini memerlukan lubang sementasi yang mempunyai kemiringan, walaupun tidak terlalu sulit mengerjakannya tetapi tetap lebih mudah untuk membor lubang dengan arah vertikal.

4. Faktor kekuatan dari batuan

Kekuatan dari batuan dapat membantu pelaksanaan dari sementasi apabila permukaan dari slab tersebut masif, kuat dan tertanam baik kedalam batuan dasar. Keadaan ekstrim yang berlawanan adalah apabila keadaan batuan yang lunak dengan permukaan lapisan yang lepas atau adanya daerah yang bergerak dibawah tekanan sementasi.

5. Faktor kekerasan dari batuan

Kekerasan dari batuan adalah salah satu faktor yang sangat membantu, apabila batuan mempunyai kekuatan yang mencukupi sehingga tidak runtuh. Jika tidak, akan dapat menimbulkan banyak kesulitan karena lubang akan sering runtuh selama dan sesudah pemboran.

6. Faktor tekanan yang terdapat pada batuan

Tekanan yang terjadi pada batuan biasanya disebabkan oleh adanya gaya tektonik dan dapat menjadikan batuan masif dan sangat keras. Adanya tekanan tersebut biasanya dapat dideteksi secara visual bila permukaan tebing dan singkapan menunjukkan adanya karakteristik lipatan pada

lembah yang menonjol keluar. Perbatasan dari tiap bagian batuan dengan batuan dasar sebagai hasil dari perambatan yang berangsur-angsur dari retakkan- retakkan ini sampai pada tahap tekanan dalam daerah yang kecil tetap menempel menjadi begitu kuat sehingga kekuatan dari batuan dilampaui dan terjadi patahan yang mendadak. Energi regangan yang dikeluarkan sering kali dapat memproyeksikan lepasnya batuan dari batuan dasar dan meninggalkan celah terbuka sampai beberapa centimeter . Pelaksanaan sementasi haruslah dapat mengetahui adanya batuan yang tertekan karena efek dominasinya pada pelaksanaan sementasi.

7. Faktor keseragaman batuan

Keseragaman batuan pada pondasi akan dapat membantu untuk mengatur tata letak lubang injeksi, jika lapisan batuan dan susunan formasi batuannya baik dan sama, lubang injeksi akan dapat sama dan mempunyai inklinasi yang sama. Pondasi yang batuannya tidak sama mungkin mengharuskan lubang-lubang inklinasi yang bervariasi dan permukaan batuan yang tidak baik mungkin mengharuskan sementasi pada lokasi tertentu secara intensif.

8. Faktor porositas batuan

Jika batuan pada rekahan-rekahan mampu untuk menahan rembesan, mungkin dibutuhkan sementasi yang lebih intensif dari pada sebaliknya menghilangkan sama sekali rembesan di daerah yang cenderung mengalami rembesan.

2.2.4 Lokasi sementasi tirai pada bendungan

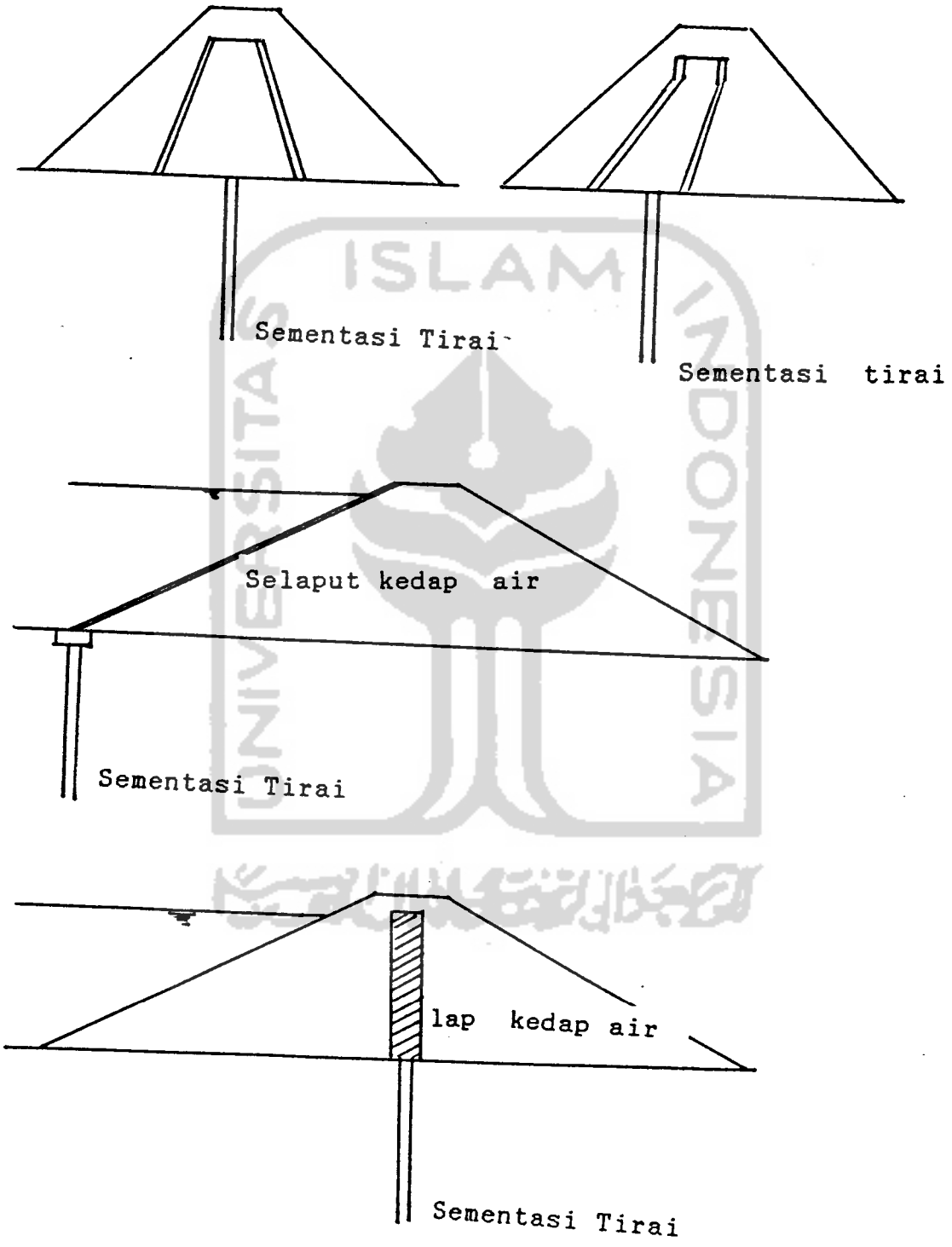
Sementasi pondasi pada bendungan sebagian besar menggunakan bentuk tirai dan hal ini digunakan untuk beberapa keperluan yang banyak dipengaruhi rembesan di bawah bendungan.

2.2.4.1 Bendungan tipe tanggul

Pada bendungan tipe tanggul dengan inti dari tanah (tipe homogen) tirai akan digunakan pada lokasi bagian depan as inti tapi tidak jauh kedepan.

Lokasi tirai untuk bendungan berbentuk tanggul dengan selaput kedap air pada bagian muka bendungan ("stream membrane") atau selaput kedap air pada pusat bendungan ("central membrane") berada pada pertemuan antara selaput kedap air ("membrane") dengan pondasi. Selaput kedap air biasanya dihubungkan dengan ujung beton dan sementasi tirai dibentuk di bawahnya, sehingga membentuk kedap air yang menerus vertikal.

Sementasi tirai untuk tipe tanggul diilustrasikan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Penentuan lokasi sementasi tirai

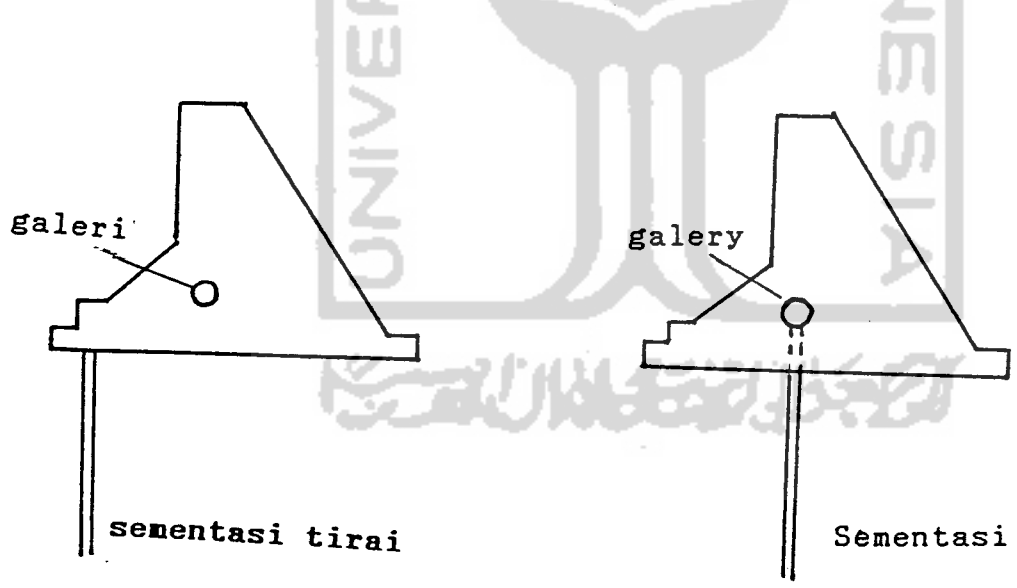
2.2.4.2 Bendungan beton

Pada bendungan tipe beton, tirai biasanya diletakkan sedekat mungkin dengan bagian muka untuk membantu mengurangi gaya tekan keatas.

Ada dua kasus cara menentukan lokasi sementasi yang biasa dilakukan, yakni:

1. Sementasi tirai diletakkan pada ujung muka dari tubuh bendungan.
2. Sementasi tirai diletakkan dibawah lorong (galery) dalam tubuh bendungan.

Gambar 2.4 akan memperjelas perbedaan penempatan tirai seperti yang dijelaskan diatas.



Gambar 2.4.Penentuan lokasi sementasi pada bendungan beton

Berkenaan dengan lokasi pelaksanaan itu, kedua cara tersebut mempunyai keuntungan dan kerugian.

Keuntungan dari kasus 1

1). Sementasi diletakkan pada ujung bagian muka ("upstream") dari tubuh bendungan, sehingga gaya angkat terhadap tubuh bendungan dapat dikurangi.

2). Pekerjaan ini dilakukan diluar, yakni dari ujung pondasi pada bagian muka, sehingga lebih ekonomis dan "workability" sangat mudah sekali dibandingkan bila dilakukan dari lorong (" galeri") pengamatan.

Kerugian pada kasus 1

1). Jika perbaikan sementasi diperlukan setelah pengisian waduk, pekerjaan tersebut sangat sulit sekali dilakukan dibandingkan dengan kasus 2.

2). Pekerjaan lapangan ini sangat dipengaruhi oleh cuaca.

3). Kebocoran cenderung lebih mudah terjadi pada samping bagian muka dibandingkan dengan pekerjaan dari galeri pengawasan, jika sementasi dilakukan pada ujung tubuh bendungan.

Keuntungan dan kerugian dari kasus 1 berbalikan dengan kasus 2.

2.2.5 Dimensi dan arah sementasi tirai pada bendungan

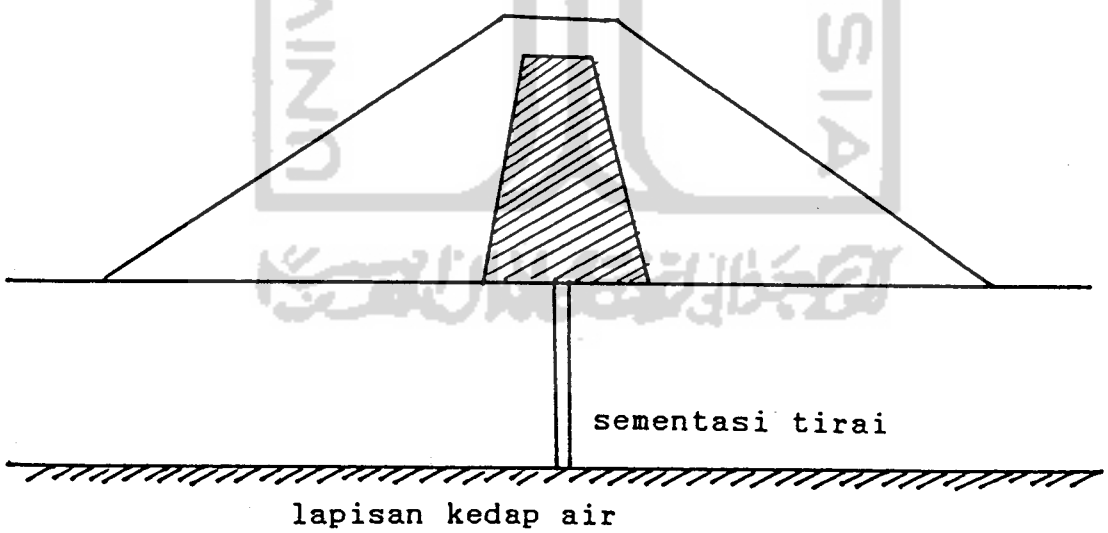
Dimensi dan arah sementasi tirai harus ditentukan dengan memperhatikan sifat-sifat batuan dasar, permeabilitas pondasi bendungan, hasil uji sementasi,dll. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam masalah penentuan dimensi dan arah sementasi tirai diantaranya :

2.2.5.1 Kedalaman

Penentuan kedalaman sementasi tirai dapat dihitung dengan mempergunakan teori rembesan dari rumus Darcy (Q = k.i.a). Pembahasan penggunaan teori rembesan dari rumus Darcy untuk menentukan kedalaman dari sementasi tirai akan diterangkan pada bagian analisis studi kasus.

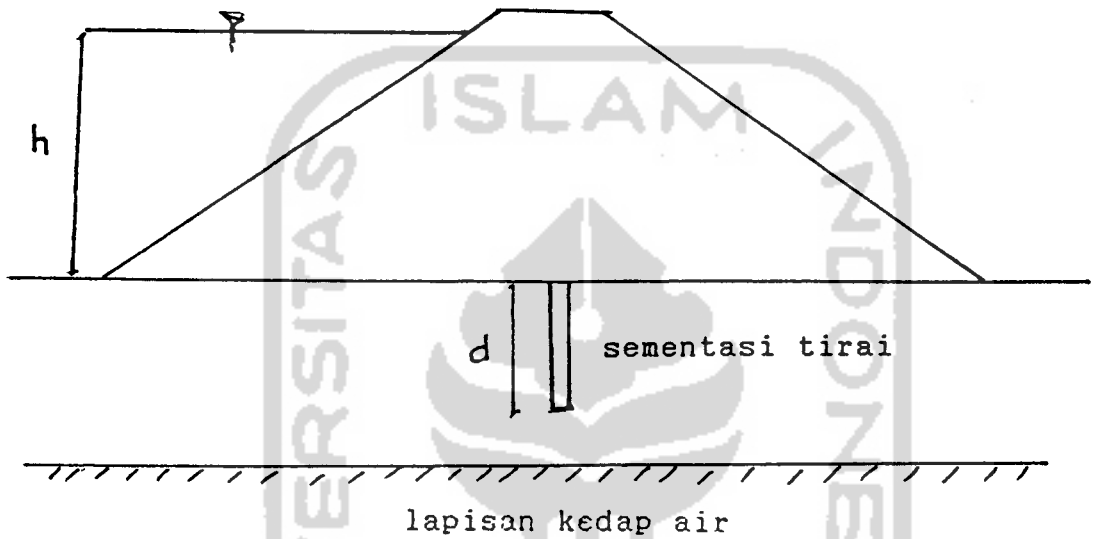
Pada umumnya pendapat mengenai kedalaman dapat berbeda-beda, tetapi ada beberapa anjuran mengenai kedalaman tirai, diantaranya :

1. Jika ada lapisan tidak tembus air yang tidak begitu dalam (<40m) , tirai dibuat sampai ke lapisan tersebut.



Gambar 2.5. Penentuan kedalaman sampai lapisan kedap air

2.Simmonds (1951), menganjurkan untuk kedalaman sementasi tirai adalah :



$$d = \frac{1}{3} h + c \qquad (2.1)$$

dimana :

d : kedalaman tirai (meter)

h : kedalaman air maksimum di dalam waduk (meter)

c : koefisien (8-25 m) tergantung tipe pondasi, dimensi bendungan, dan pengaruh kebocoran lokal.

Akan tetapi mengingat rumus tersebut merupakan rumus perkiraan kasar, maka penentuan kedalaman sementasi tirai pada pelaksanaan yang sesungguhnya masih memerlukan

pertimbangan dari hasil pengujian permeabilitas lapisan pondasi dan keadaan geologi batuan yang ada di bawah tubuh bendungan.

2.2.5.2 Penentuan jumlah baris

Rumus empiris yang dikemukakan oleh Koerner dapat digunakan untuk menentukan jarak jangkauan dari hasil sementasi adalah:

$$r = 0.62 \left(\frac{R.g.t}{n} \right)^{1/3} \qquad (2.2)$$

dengan:

r : radius penetrasi fluida pengisi (feet)

t : waktu fluida pengisi menjadi gel (menit)

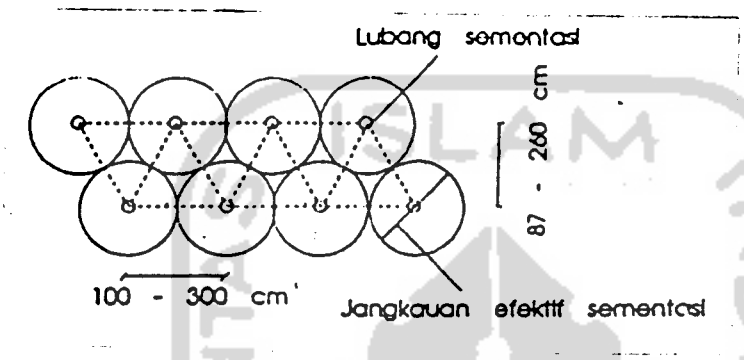
n : porositas dari formasi tanah

g : gravitasi (ft/dt^2)

R : rasio viskositas air terhadap viskositas fluida pengisi

Namun mengingat adanya ketidakpastian kesuksesan dari hasil sementasi pada masing-masing lubang dan mengingat rumus tersebut hanya didasarkan pada eksperimen, untuk menghindari adanya kebocoran, maka sebaiknya pembuatan sementasi satu baris dihindari, karena sukar untuk memastikan apakah pelaksanaan sementasi tersebut telah cukup memadai. Oleh karena itu lubang-lubang bor harus dibuat sekurang-kurangnya dalam 2 baris dengan aturan

berselang seling, sedemikian rupa sehingga tiga buah lubang yang berdekatan membentuk segi tiga sama sisi dengan panjang sisinya antara 100 - 300 cm, seperti terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. jangkauan efektif sementasi (dari Takeda)

Jarak lubang-lubang bor biasanya antara 100 - 300 cm, tergantung dari kondisi pondasi serta besarnya rekahan-rekahan yang terdapat pada pondasi tersebut.

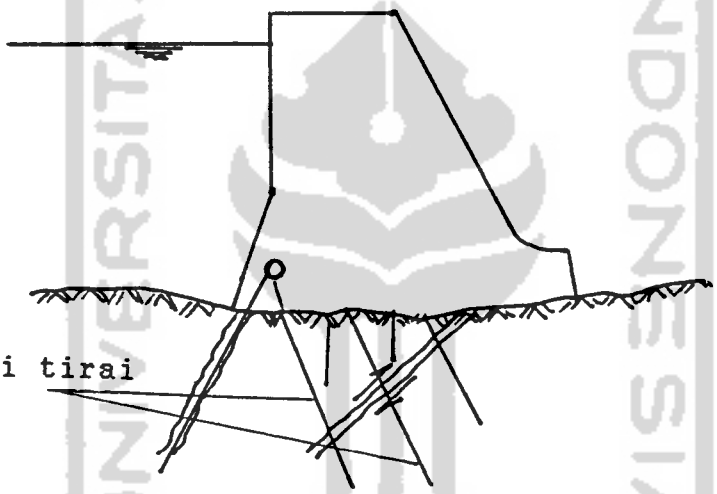
2.2.5.3 Inklinasi

Lubang-lubang sementasi sebaiknya dibuat inklinasi yaitu mempunyai kemiringan sehingga akan didapat kemungkinan terbaik untuk berpotongan tegak lurus dengan bagian-bagian rembesan utama. Dengan demikian lubang sementasi dapat mempunyai kemiringan lebih dari satu arah. Pelaksanaan dan pemeriksaan di lapangan pada beberapa lubang akan cukup sulit terutama pada tanah dengan kemiringan curam.

Situasinya dapat menjadi sangat rumit dalam pondasi yang berisi sistem lipatan yang komplek. Para ahli geologi memberikan bantuan yang amat penting dalam tahap disain,

untuk mengidentifikasi keadaan geologi, keadaan lipatan-lipatan dan arah-arah rembesan yang utama.

Inklinasi pada pelaksanaan sementasi diperlukan juga apabila ditemui keadaan khusus dari lapisan geologi. Misalkan terdapat lapisan patahan pada lapisan pondasi.Gambar 2.8 menunjukkan keadaan dimana diperlukan inklinasi pada pelaksanaan sementasi akibat dari adanya patahan pada lapisan dasar pondasi.



Gambar 2.8. Sementasi pada patahan

Sumber : Construction and geotechnical method in foundation engineering, Robert M Koerner.

2.2.5.4 Jarak tiap lubang

Jarak yang memisahkan lubang-lubang utama sebagian besar ditentukan oleh keadaan geologi, yakni oleh jarak lapisan. Pada pondasi dengan jarak lapisan yang lebar, jarak antara lubang-lubang utama akan dibuat interval cukup lebar misalnya 10 m , sehingga fluida pengisi dapat memasuki seluruh lapisan. Ini berarti jika sistem tertier dipakai, jarak antar lubang menjadi 2,5 m.

Apabila lapisan-lapisan batuan berjarak cukup dekat, maka jarak lubang-lubang utama menjadi lebih dekat yakni 5 m atau bahkan 3 m, untuk memastikan semua lipatan sudah dimasuki fluida pengisi. Apabila lubang utama berjarak 5 m dan jika sistem tertier diperlukan maka jarak antar lubang menjadi 1.25 m.

Beberapa lubang utama harus digunakan untuk mengambil contoh yang akan digunakan untuk menyelidiki keadaan geologi di bawah bendungan. Tetapi mungkin diperlukan untuk menginstruksikan lubang tambahan untuk tujuan penyelidikan selama jalannya pekerjaan sementasi . Lubang penyelidikan harus diuji terlebih dahulu pada lubang-lubang yang berdekatan sehingga hasil uji dapat digunakan pada tahap awal dari perencanaan operasi sementasi.

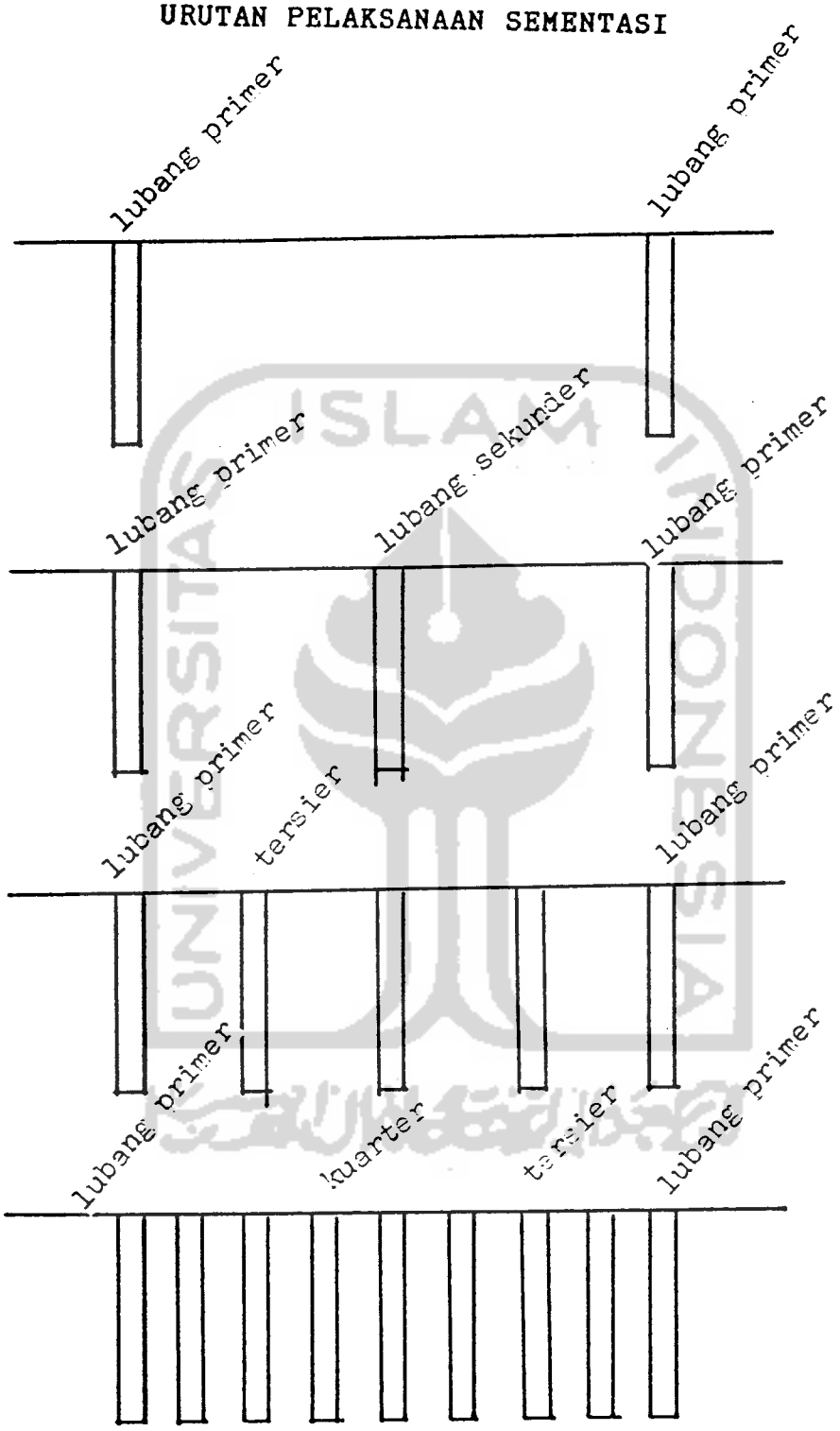
Beberapa lubang-lubang penyelidikan haruslah dibor pada kedalaman yang lebih dibandingkan dengan kedalaman untuk disain sementasi tirai, sehingga dapat dipastikan keadaan geologi di bawah tirai. Apabila lubang penyelidikan merupakan bagian dari tirai, maka sesudah pengambilan contoh dan pengujian selesai dilakukan, lubang-lubang tersebut harus disementasi dengan spesifikasi yang sama seperti lubang-lubang tirai.

Lubang-lubang penyelidikan boleh juga dibor di dalam lokasi sementasi tirai sesudah pelaksanaan sementai selesai untuk mendapatkan nilai permeabilitas yang tersisa. Jika nilai permeabilitas memuaskan, lubang-lubang diisi kembali dengan fluida pengisi, tetapi jika hasil uji

permeabilitas tidak memuaskan maka pelaksanaan sementasi yang lebih lanjut perlu dijalankan.

Akibat sementasi, jumlah fluida pengisi yang disuntikkan seharusnya berkurang selama berjalannya proses sementasi dari primer, ke sekunder dan ke lubang-lubang tertier, tetapi jika hal ini tidak terbukti maka kebijaksanaan harus diambil untuk mengurangi jarak dari lubang-lubang primer atau menambah lubang kuarter. Jika pada taraf awal dari lubang sekunder telah mengisi hampir sama dengan lubang primer maka mungkin diperlukan untuk memperdalam lubang sekunder.

Urutan pelaksanaan sementasi di lapangan digambarkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Urutan pelaksanaan sementasi tirai

2.2.6 Rasio semen dan air yang optimum

Aspek ketahanan yang dihasilkan dan hasil pekerjaan sementasi yang memuaskan pada pondasi batuan sebagian besar bergantung dari rasio semen dan air yang digunakan (R.M Koerner).

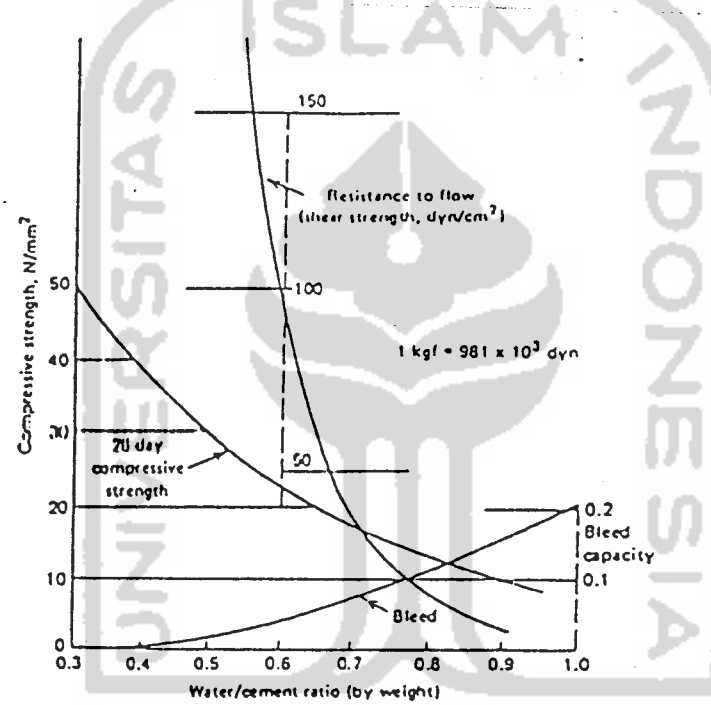
Air diperlukan untuk memberikan mobilitas kepada fluida pengisi. Jika air berlebihan sebagian dapat terpisah dari fluida pengisi sehingga mungkin terperangkap dalam retakan yang akan berperan utama dalam terhentinya kelangsungan pengisian semen. Air yang terperangkap ini dapat berbentuk kantong, gelembung-gelembung dan "bleed paths". Konsekuensi yang timbul dari pengisian retakan yang tidak sempurna adalah timbulnya rembesan yang dapat melewati setiap celah-celah menerus yang tersedia. Ini menimbulkan resiko kebocoran pada fluida pengisi yang berangsur-angsur dari celah-celah tersebut.

Tujuan yang utama adalah menggunakan seminimum mungkin air yang dapat menghasilkan fluida pengisi yang kuat dengan radius penetrasi yang layak dari lubang sementasi. Pada bagian ini akan ditunjukkan beberapa rasio semen air yang optimum untuk digunakan, hal ini didasarkan pada ribuan aplikasi pekerjaan sementasi.

Semen yang digunakan dalam pekerjan sementasi ini pada umumnya adalah Portland semen tipe I yang kira-kira 99% partikelnya lolos saringan 44 sampai 100 μm. Ukuran partikel dari semen jenis ini pada tanah dan batuan dengan lebar retakan 160 μm memungkinkan fluida pengisi untuk lewat dengan kecepatan aliran 0,05 cm/dt. Pada tanah yang lebih halus atau pada batuan dengan retakan 20 μm

penggunaan Portland semen tipe III dianjurkan agar didapatkan kecepatan aliran yang cukup memadai yaitu 0,001 cm/dt.

Pada gambar 2.10 diperlihatkan grafik yang menunjukkan pengaruh perbedaan dari rasio semen air pada beberapa aspek yang berhubungan dengan pelaksanaan sementasi.



Gambar 2.10. Grafik hubungan rasio semen air dan pengaruhnya
(dari R.M. Koerner)

Sumber : Construction and geotechnical methode in foundation engineering, Robert M Koerner.

2.2.6.1 Kekuatan dari sementasi

Apabila aliran air bawah tanah dapat melewati daerah yang disementasi setelah pekerjaan sementasi selesai, maka akan menimbulkan kemungkinan pemindahan atau pelemahan dari fluida pengisi. Jika aliran air agresif, maka kehilangan efektifitas dari pekerjaan sementasi dapat berlangsung dalam waktu setahun.

Sementasi yang tahan lama dapat diperoleh dengan memastikan dapat ditiadakannya "bleed water" yang terjebak dalam selaput fluida pengisi. Ini dapat dengan mudah dicapai dalam retakan vertikal dan hampir vertikal, dimana perbedaan kepadatan menyebabkan keluarnya "bleed water". Hal ini sangat sulit dicapai dalam retakan yang hampir horisontal, yakni segera sesudah injeksi dan sebelum pengerasan dapat menghasilkan hambatan bagi pemindahan air ini. Penelitian yang dilakukan AC. Houlsby sesudah itu menunjukkan bahwa hal ini tidak berlaku secara umum. Keterangan riset ini tidak diperluas sampai pada penggunaan tekanan tinggi, tetapi aturan pokok menunjukkan bahwa kecepatan dari pemisahan air dari fluida pengisi yang ditempatkan pada retakan hampir horisontal tidak mungkin hasil dari adanya tekanan tinggi sepanjang retakan. Tekanan ini tidak melewati fluida pengisi yang padat, tekanan disalurkan melalui bagian atas retakan melewati fluida yang kurang padat yang timbul disana. Karena "bleeding"dari air yang berlebihan adalah merupakan

proses gravitasi, maka berlangsung sangat lambat. Biasanya berlangsung lebih dari satu jam untuk terjadinya permulaan "bleeding" pada iklim sedang dan dapat lebih lama lagi pada cuaca dingin.

Pembahasan rasio semen air disini digunakan untuk tekanan sedang. Oleh sebab itu fluida pengisi relatif kental untuk mendapatkan penggunaan air yang minimum dalam pelaksanaan pekerjaan.

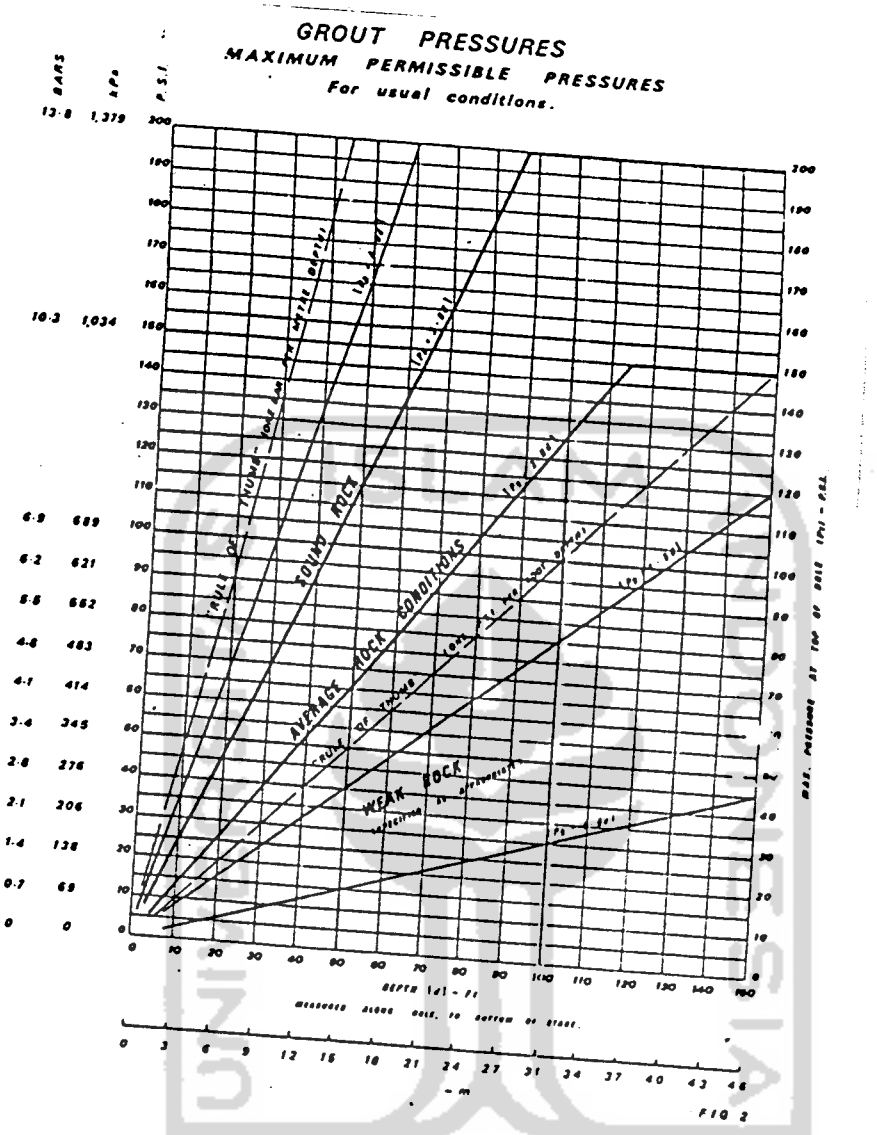
Pertimbangan yang terdahulu tentang daya tahan sementasi adalah untuk mencapai standar disain permeabilitas dalam sebuah tirai. Adalah penting untuk menyadari bahwa daya tahan sementasi mengharuskan terbentuknya isian sementasi yang padat. Hal ini paling baik divisualisasikan dengan menganggap setiap lubang sementasi adalah sebagai pusat sebuah daerah dimana retakan yang dapat disementasi haruslah diisi secara padat. Hal ini juga berkaitan dengan tujuan untuk mencapai daya tahan sementasi yang baik. Tetapi jumlah retakan terbuka yang tidak disementasi diantara areal yang disementasi adalah merupakan ukuran standar hasil dari pekerjaan sementasi. Untuk standar sementasi yang ketat katakanlah 3 Lugeon, lubang-lubang sementasi yang cukup harus ditempatkan sehingga tidak meninggalkan retakan yang tidak di sementasi.

2.2.7 Tekanan yang digunakan pada pelaksanaan sementasi

Tekanan yang diijinkan digunakan meningkat sesuai dengan tingkat kedalaman lubang. Pada penetrasi fluida

pengisi, tingkat dari kenaikan tekanan biasanya bergantung pada kondisi batuan dengan dasar pemikiran berat batuan bertindak untuk menahan pondasi melawan pengeluaran tekanan fluida pengisi. Aturan yang umum digunakan adalah 1 psi per kedalaman 1 feet dan disetujui bersama untuk rata-rata batuan yang lemah. Tekanan dapat dilipat duakan untuk kondisi batuan yang keras (R.M Koerner).

Pada gambar 2.11 ditunjukkan kurva yang dapat langsung digunakan dengan batas atas tekanan 150 psi (10 bars) yang dapat diaplikasikan pada kondisi-kondisi normal. (Kurva ini dibuat oleh A.C Houlsby).



Gambar 2.11. Grafik penentuan tekanan maksimum

Sumber : Cement grouting for dam

Menurut A.C Houlsby penggunaan tekanan untuk pelaksanaan penetrasi fluida pengisi yang baik adalah dengan peningkatan tekanan yang lambat. Sebagai contoh

dengan menggunakan tekanan sementara yang relatif rendah untuk 15 menit pertama sambil melihat apakah terdapat kebocoran, pergerakan batuan dll. Lebih mudah untuk mengadakan tindakan perbaikan yang tepat daripada menggunakan tekanan penuh secara langsung yang mungkin dapat menyebabkan kerusakan pada batuan di bawahnya. Pada lubang yang terdeteksi bebas gangguan, waktu 15 menit tersebut dapat dikurangi menjadi hanya 5 menit. Sesudah tahap tekanan sementara, tekanan harus dinaikkan perlahan-lahan untuk mencapai tekanan penuh tidak lebih dari 30 menit setelah permulaan injeksi. Prinsip utamanya adalah untuk memasukkan campuran yang terkental ke dalam retakan secepat yang dimungkinkan sehingga dapat mencapai batas penetrasi di mana fluida pengisi masih dapat bergerak dengan bebas dan menyalurkan tekanan secara efektif.

Penggunaan tekanan yang melebihi kekuatan daya rentang tanah ataupun batuan dapat menyebabkan retakan pada tanah atau batuan lapisan pondasi. Oleh sebab itu pengetahuan akan tekanan batas yang tidak menyebabkan retakan amatlah penting. Secara teoritis tekanan hidrofraktur dapat dihitung dengan rumus :

$$pf = \sigma_v \, v \, (1 + \sin \phi) \qquad (2.3)$$

dengan :

pf : tekanan hidrofraktur

σ_v : tegangan vertikal efektif

v : poison rasio

ø : sudut tahanan geser

Tetapi untuk penentuan tekanan hidrofraktur secara praktis Cambefort menemukan cara yang lebih mudah yaitu dengan menggunakan rumus:

$$Pf = \frac{qf\ \tau f\ Vg}{2\pi\ k\ H\ Vw}\ \ln \frac{r}{r'} \qquad (2.4)$$

dengan :

pf	: tekanan hidrofraktur	(lb/ft^2)
qf	: tingkat aliran fluida pengisi	(ft^2/dt)
τf	: berat unit fluida pengisi	(lb/ft^2)
k	: koefisien permeabilitas	(ft/dt)
Vg	: viskositas dari fluida pengisi	(cP)
Vw	: viskositas air	(cP)
H	: ketebalan dari area yang disementasi	(ft)
r	: radius dari area yang telah disementasi	(ft)
r´	:radius lubang sementasi	(ft)

Dengan mendapatkan nilai tekanan hidrofraktur ini, kita dapat menghindarkan tekanan yang dapat menimbulkan retakan baru.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Permeabilitas

Kemampuan fluida untuk mengalir melalui medium yang berpori merupakan suatu sifat teknik yang disebut permeabilitas. Dalam masalah geoteknik, fluida ini adalah air dan medium berpori adalah massa tanah. Sifat bahan yang memiliki rongga disebut berpori dan apabila rongga tersebut saling berhubungan maka rongga akan memiliki sifat permeabilitas. Jadi batuan, beton, tanah dan banyak bahan lainnya kesemuanya merupakan bahan yang berpori dan tembus air.

Permeabilitas suatu massa tanah penting untuk:

1. Mengevaluasi jumlah rembesan yang melalui bendungan dan tanggul.
2. Mengevaluasi gaya angkat atau gaya rembesan di bawah struktur hidrolik untuk analisa stabilitas.
3. Menyediakan kontrol terhadap kecepatan rembesan sehingga partikel tanah berbutir halus tidak tererosi dari massa tanah.
4. Studi mengenai laju penurunan konsolidasi.

3.1.1 Penentuan koefisien permeabilitas

Penentuan koefisien permeabilitas dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya :

a. Metoda laboratorium

Penentuan koefisien permeabilitas (k) dengan metoda laboratorium ini, diturunkan dari rumus Darcy dalam bentuk:

$$Q = k\ i\ A\ t = k \frac{h}{L} A\ t \qquad (3.1)$$

dengan :

Q : jumlah air dalam waktu t
k : koef. permeabilitas
i : gradien hidrolik
h : tinggi perbedaan muka air
L : tinggi contoh tanah
A : luas penampang
t : waktu

1). Uji Permeabilitas Tegangan Konstan (Constant Head Permeability Test)

Uji permeabilitas dengan cara ini dipakai apabila cukup banyak air yang dapat merembes kedalam contoh tanah dalam waktu yang tidak terlampau lama.

Pada percobaan ini contoh tanah yang hendak diperiksa dipasang dalam suatu tempat yang berbentuk silinder, dan air dibiarkan mengalir melalui contoh tanah tersebut. Banyaknya air yang keluar dari contoh pada suatu waktu tertentu ditampung dan diukur dengan memakai tabung pengukur.

Dari rumus Darcy :

$$Q = k \frac{h}{L} A\, t$$

maka :

$$k = \frac{QL}{Aht} = \frac{qL}{Ah} \qquad (3.2)$$

2). Uji Permeabilitas Tegangan Berubah (Variable Head Permeability Test)

Uji permeabilitas dengan cara ini dipakai apabila sangat sedikit air yang dapat merembes ke dalam contoh tanah dalam waktu yang tidak terlampau lama.

Pada cara ini, penentuan koefisien permeabilitas (k) dilakukan dengan mengukur penurunan ketinggian air pada pipa tersebut dalam jangka waktu tertentu. Jadi tegangan air sekarang tidaklah tetap .

Pada saat ketinggian air = h, penurunan dh, waktu dt, maka rumus Darcy dapat ditulis sebagai berikut :

Air yang masuk ke dalam contoh tanah dari pipa adalah :

$$q \text{ masuk} = -a \frac{dh}{dt} \qquad (3.3)$$

Air yang keluar dari contoh adalah :

$$q \text{ keluar} = kiA$$

Dari persamaan kontinyuitas :

q masuk = q keluar

$$-a \frac{dh}{dt} = k \frac{h}{L} A$$

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{kA}{aL} h \qquad (3.4)$$

Dengan mengintegralkan kedua ruas tersebut diatas, maka :

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{kA}{aL}\,dt$$

$$k = \frac{aL}{A\,(t1-to)}\,\ln\frac{ho}{h1}$$

$$k = 2{,}3\,\frac{aL}{A(t1-to)}\,\log\frac{ho}{h1} \qquad (3.5)$$

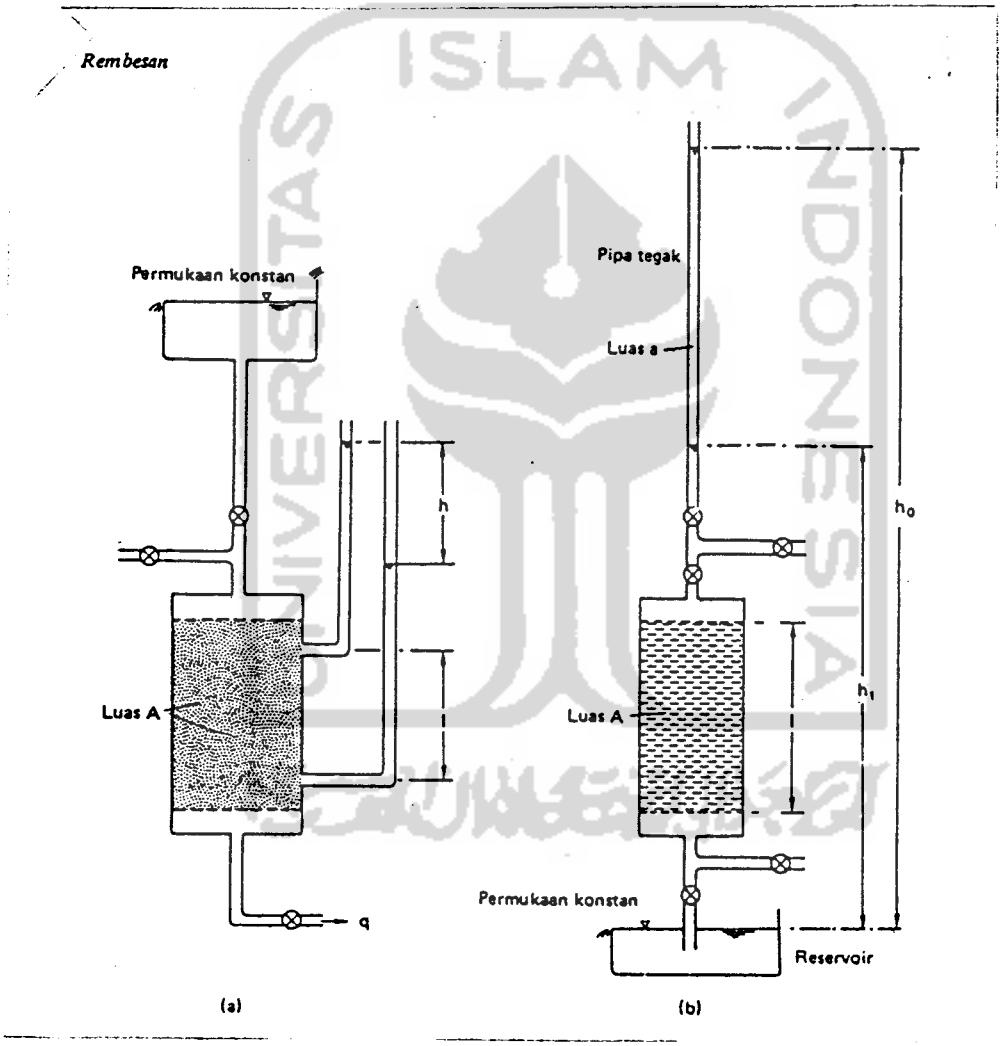
b. Metoda lapangan

Penentuan koefisien permeabilitas (k) dengan menggunakan metoda lapangan diantaranya :

1). Uji pemompaan sumur ("well pumping test")

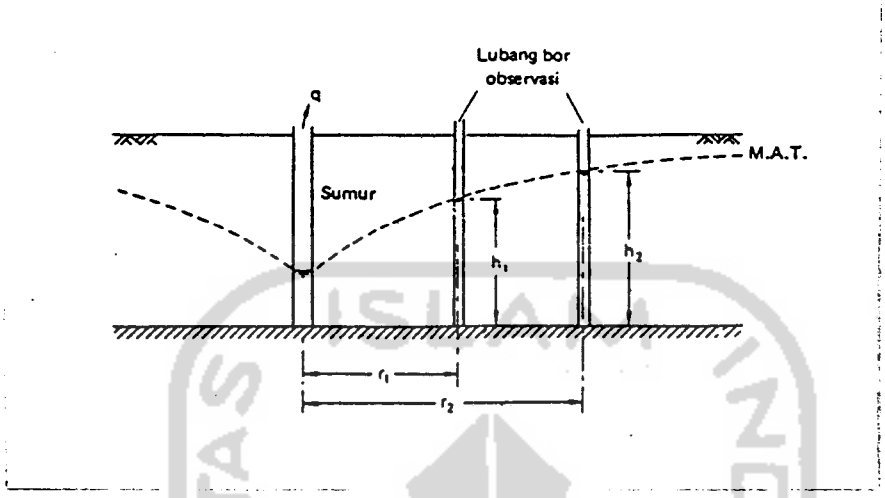
Metoda pengujian ini sangat cocok untuk lapisan tanah homogen berbutir kasar. Pada metode ini dilakukan pemompaan air secara terus-menerus pada sebuah sumur yang menembus sampai dasar lapisan tanah (tanah keras). Pada daerah yang dekat dengan sumur tersebut diadakan pengamatan terhadap tinggi muka air, dengan menggali beberapa lubang bor. Pemompaan ini dilakukan terus-menerus sampai tercapai kondisi rembesan yang ("steady seepage"). Rembesan terjadi pada sumur-sumur dan lubang-lubang secara radial. Untuk menentukan suatu jalur radial dari pusat sumur diperlukan paling sedikit dua lubang seperti terlihat pada gambar 1.1. Terlihat adanya surutan (drawdown) muka air akibat adanya pemompaan. Pada keadaan ("steady seepage"), tinggi muka air pada lubang-lubang tersebut sesuai dengan tinggi muka air tanah yang baru. Lubang-lubang tersebut berada pada jarak r1 dan r2 dari

sumur dan tinggi muka air tanah berturut-turut adalah h1 dan h2 relatif terhadap dasar lapisan tanah.



Gambar 3.1. Uji permeabilitas laboratorium: (a) tinggi konstan, (b) tinggi jatuh.

Sumber : Mekanika Tanah, RF.Craig



Gambar 3.2. Uji pemompaan sumur (well pumping test)

Analisisnya didasarkan atas asumsi bahwa gradien hidrolik pada suatu jarak r dari sumur adalah konstan pada setiap kedalaman dan besarnya sama dengan kemiringan muka air tanah yaitu :

$$ir = dh/dr$$

dengan h adalah tinggi muka air tanah pada radius r. Asumsi ini dikenal dengan asumsi Dupuit dan hasilnya akurat untuk daerah yang berdekatan dengan sumur, luas daerah dimana terjadi pengaliran air adalah sebesar $2\pi rh$, maka dengan menggunakan rumus darcy didapat:

$$q = 2\pi rhk \frac{dh}{dr} \qquad (3.6)$$

$$q \frac{dr}{r} = 2\pi k \; h \; dh$$

$$q \ln \frac{r2}{r1} = \pi k(h2^2-h1^2)$$

$$k = \frac{2,3\ q \log (r2/r1)}{\pi(h2^2-h1^2)} \qquad (3.7)$$

Persamaan ini digunakan untuk sepasang lubang dan nilai k yang dihasilkan adalah nilai k rata-rata.

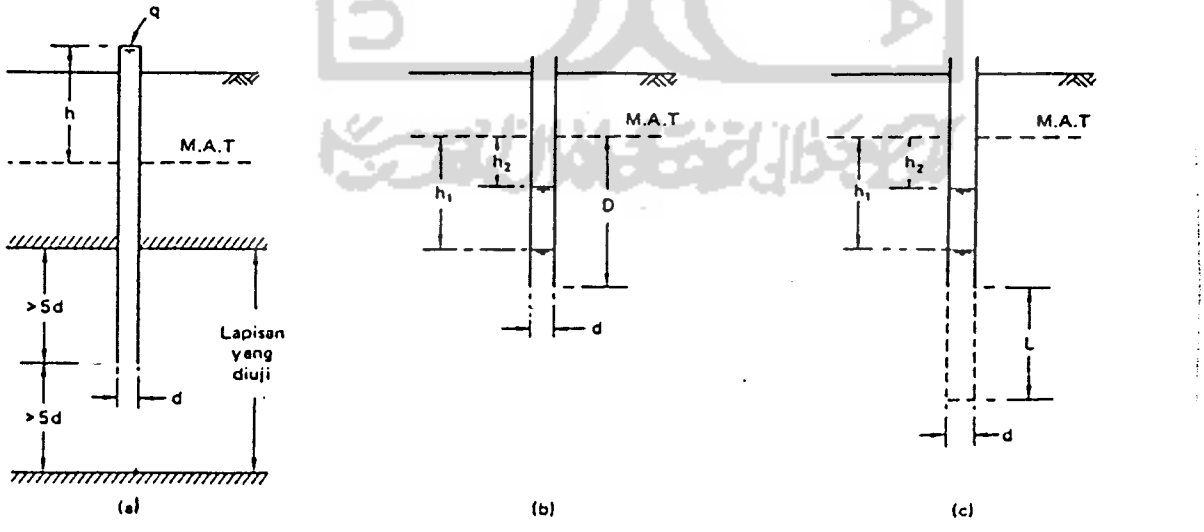
2) Metode pengujian lapangan lainnya adalah uji lubang bor ("borehole test"), yang meliputi pengujian dengan tinggi energi konstan ("constant head") dan pengujian dengan tinggi energi berubah-ubah ("variable head"). Pada uji pertama, air melewati contoh lapisan tanah menuju dasar lubang bor dengan tinggi energi yang konstan. Pada lubang dinding tersebut dipasang selubung pipa ("casing"). Keadaan diatas ditunjukkan pada gambar 3.3a, di mana batas akhir dasar lubang tidak boleh kurang dari 5d dari puncak lapisan maupun dari dasar lapisan, dimana d adalah diameter dalam dari selubung pipa. Tinggi muka air pada lubang bor dipertahankan konstan dengan pemompaan sebesar q. Perbedaan tinggi muka air pada lubang ini dengan tinggi muka air tanah adalah h. Dengan menggunakan persamaan 3.8, yang diturunkan berdasarkan percobaan-percobaan yang analog dengan sifat-sifat listrik, maka koefisien permeabilitas contoh tanah dapat ditentukan sebagai berikut :

$$k = \frac{q}{2,75\ dh} \qquad (3.8)$$

Pada pengujian ini harus dipastikan tidak ada penyumbatan pada dasar lubang bor akibat pengendapan. Kalau ada, berarti harus dilakukan pemompaan di bawah suatu tekanan.

Pada pengujian dengan tinggi energi berubah-ubah, kapasitas aliran ke lubang dihitung sebagai fungsi waktu (t). Tinggi muka air pada lubang bor relatif terhadap muka air tanah berubah dari h1 ke h2. Hvorslev mengemukakan suatu rumus untuk menghitung koefisien permeabilitas pada beberapa keadaan lubang bor. Dua contoh diberikan dibawah ini : contoh pertama menggunakan sebuah lubang berselubung pipa dengan diameter dalam d, menembus hingga kedalaman D dibawah muka air tanah (tidak melebihi 1,5 meter) di dalam suatu lapisan tanah yang diasumsikan mempunyai kedalaman yang tidak terbatas, seperti diperlihatkan dalam gambar 3b. Koefisien permeabilitasnya adalah :

$$k = \frac{\pi d}{11t} \ln \frac{h1}{h2} \qquad (3.9)$$



Gambar 3.3. Uji lubang bor

Sumber : Mekanika Tanah, RF. Craig

Contoh kedua menggunakan sebuah lubang dengan panjang selubung dan perubahan panjang selubung yang berlubang-lubang sebesar L (di mana L>4d) di dalam suatu lapisan tanah yang diasumsikan tak terbatas seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.3c. Koefisien permeabilitasnya adalah:

$$k = \frac{d2^2}{8Lt} \ln \frac{2L}{d} \ln \frac{h1}{h2} \qquad (3.10)$$

3.2 Rembesan

Perkiraan rembesan yang terjadi sangat penting dalam pelaksanaan pembangunan suatu bendungan atau tanggul. Baik pada bendungan tipe urugan maupun pada beton, rembesan dapat memberi pengaruh buruk apabila terjadi secara berlebihan. Rembesan yang berlebihan dan terpusat akan menyebabkan erosi pada lapisan tanah atau batuan pada pondasi bendungan. Selain menyebabkan erosi, tingkat rembesan juga harus diperhitungkan dengan nilai air yang terdapat pada bendungan. Apabila dinilai tingkat rembesan sudah berlebihan ataupun dapat menyebabkan erosi, maka pengurangan tingkat rembesan adalah suatu keharusan dalam pelaksanaan pekerjaan bendungan.

3.2.1 Persamaan dasar aliran

Pada bagian ini dibahas tentang rembesan dalam dua dimensi. Pertama-tama tanah diasumsikan homogen dan isotropis dengan koefisien permeabilitas k. Pada bidang x-z, hukum Darcy dapat ditulis sebagai berikut :

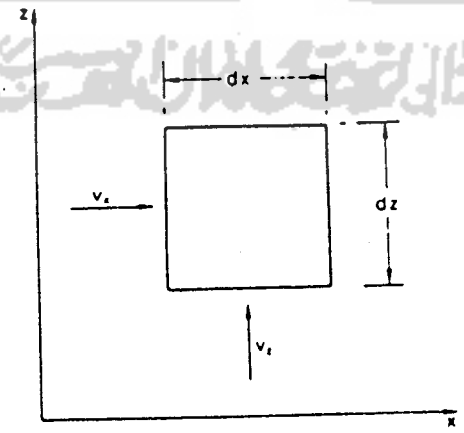
$$v_x = ki_x = - k \frac{\partial h}{x} \qquad (3.11a)$$

$$v_z = ki_z = - k \frac{\partial h}{z} \qquad (3.11b)$$

(tinggi energi total h berkurang dalam arah v_x dan v_z)

Sebuah elemen tanah jenuh air yang memiliki dimensi dx,dy dan dz pada bidang x,y dan z, dengan aliran air pada bidang x dan z diperlihatkan pada gambar. Komponen-komponen kecepatan aliran yang memasui elemen tersebut adalah v_x dan v_z dan laju perubahan kecepatan aliran tersebut dalam arah x dan z berturut-turut adalah $\partial v_x / \partial x$ dan $\partial v_x / \partial z$. Sedangkan volume air yang memasuki elemen per satuan waktu adalah :

v_x dy dz + v_z dx dy



Gambar 3.4. Rembesan melalui suatu elemen tanah

Sumber : Mekanika Tanah, RF. Craig

dan volume air yang meninggalkan elemen per satuan waktu adalah :

$$\left(v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) dy\, dz + \left(v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \right) dx\, dy$$

Pada saat air memasuki dan meninggalkan elemen, volume elemen tidak berubah dan kalau air diasumsikan tak dapat tertekan (incompressible), maka selisih volume air yang masuk ke elemen per satuan waktu dengan volume air yang meninggalkan elemen per satuan waktu adalah nol. Sehingga :

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \qquad (3.12)$$

Persamaan tersebut adalah persamaan kontinuitas untuk rembesan dua dimensi. Tetapi kalau volume elemen ternyata berubah, persamaan kontinuitas tersebut menjadi :

$$\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) dx\, dy\, dz = \frac{dV}{dt} \qquad (3.13)$$

di mana dV/dt adalah perubahan volume per satuan waktu.

Suatu fungsi ϕ (x,z), yang dinamakan fungsi potensial, di mana :

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = v_x = - k \frac{\partial h}{\partial x} \qquad (3.14a)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = v_z = - k \frac{\partial h}{\partial z} \qquad (3.14b)$$

Dari persamaan dan didapat :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \qquad (3.15)$$

sehingga fungsi ϕ (x,z) = -kh (x,z) + C

dimana C adalah konstanta. Jadi jika fungsi ϕ (x,z) menghasilkan nilai konstan, misalnya ϕ1 maka akan didapat suatu kurva dengan nilai tinggi energi total (h1) yang konstan pula. Jika fungsi ϕ (x,z) merupakan serangkaian nilai ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3. Dan seterusnya yang konstan maka akan di dapat kumpulan kurva-kurva yang masing-masing menghasilkan tinggi energi total yang konstan (tetapi setiap kurva memiliki nilai yang berbeda-beda).

Kumpulan kurva-kurva ini disebut garis ekipotensial.

Fungsi kedua (x,z), yang disebut fungsi aliran, juga diperkenalkan, di mana :

$$- \frac{\partial \psi}{x} = v_z = - k \frac{\partial h}{\partial z} \qquad (3.16a)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = v_z = - k \frac{\partial h}{\partial x} \qquad (3.16b)$$

Dapat dilihat bahwa fungsi ini juga memenuhi persamaan Laplace.

Diferensial total dari fungsi (x,z) ini adalah :

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial z} dz$$

$$= - v_z \, dx + v_x \, dz$$

Jika fungsi ψ (x,z) ini menghasilkan suatu nilai yang konstan ψ_1, maka $d\psi$ = 0 dan :

$$\frac{dz}{dx} = \frac{v_z}{v_x} \qquad (3.17)$$

Jadi besarnya tangen pada titik sembarang pada kurva adalah :

$\psi(x,z) = \psi_1$

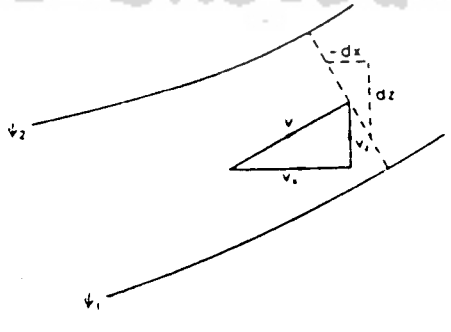
yang menunjukkan arah resultan kecepatan aliran pada titik tersebut, sehingga kurva tersebut merupakan alur aliran (flow path). Jika fungsi $\psi(x,z)$ menghasilkan sederetan nilai ψ_1, ψ_2, ψ_3, dan seterusnya yang konstan, maka akan diperoleh kumpulan kurva-kurva, di mana setiap kurva merupakan alur aliran. Kumpulan kurva-kurva ini disebut garis aliran (flow lines).

Dari gambar 5 dapat dilihat besarnya aliran per satuan waktu antara dua garis aliran diberikan pada persamaan di bawah ini, dengan nilai masing-masing fungsi aliran adalah

ψ_1 dan ψ_2 :

$$q = \int_{\psi_1}^{\psi_2} (-v_z \, dx + v_x \, dz)$$

$$= \int_{\psi_1} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial z} dz \right) = \psi_2 - \psi_1$$



Gambar 3.5 Rembesan antara dua garis aliran

Sumber : Mekanika Tanah, RF. Craig

Jadi aliran pada alur antara kedua garis aliran tersebut adalah konstan.

Diferensiasi total dari fungsi ϕ (x,z) adalah :

$$d\phi = \frac{\phi}{x} dx + \frac{\phi}{z} dz$$

$$= v_x \, dx + v_z \, dz$$

Jika fungsi ϕ (x,z) konstan, maka $d\phi = 0$ dan :

$$\frac{dz}{dx} = - \frac{v_x}{v_z} \qquad (3.18)$$

Dengan membandingkan persamaan diatas, jelaslah bahwa garis aliran dan garis ekipotensial saling berpotongan tegak lurus.

Kini tinjaulah dua buah garis aliran ψ_1 dan $(\psi_1 + \Delta\psi)$ yang dipisahkan oleh jarak Δn. Garis aliran tersebut berpotongan secara ortogonal dengan dua buah garis ekipotensial ϕ_1 dan $(\phi_1 + \Delta\phi)$ yang dipisahkan oleh jarak Δs, seperti terlihat pada gambar 6. Arah s dan n berturut-turut membentuk sudut α dengan sumbu x dan sumbu z. Pada titik A kecepatan aliran (dalam arah s) adalah v_s, dengan komponen-komponen pada arah x danz sebesar :

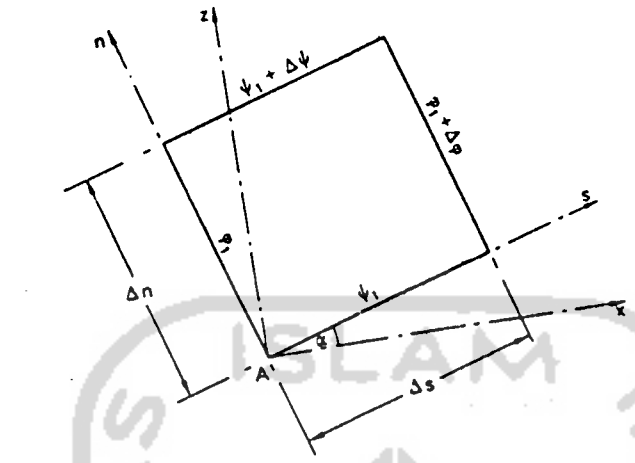
$$v_x = v_s \cos \alpha$$

$$v_s = v_s \sin \alpha$$

Kini :

$$\frac{\partial\phi}{\partial s} = \frac{\partial\phi}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial\phi}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial s}$$

$$= v_s \cos^2 \alpha + v_s \sin^2 \alpha = v_s$$



Gambar 3.6. Garis aliran dan garis ekipotensial

Sumber : Mekanika Tanah, RF. Craig

dan :

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = \frac{\partial \psi}{\partial x}\frac{x}{\partial n} + \frac{\partial \psi}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial n}$$

$$= - v_s \sin \alpha (- \sin \alpha) + v_s \cos^2 \alpha = v_s$$

sehingga :

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = \frac{\partial \phi}{\partial s}$$

atau :

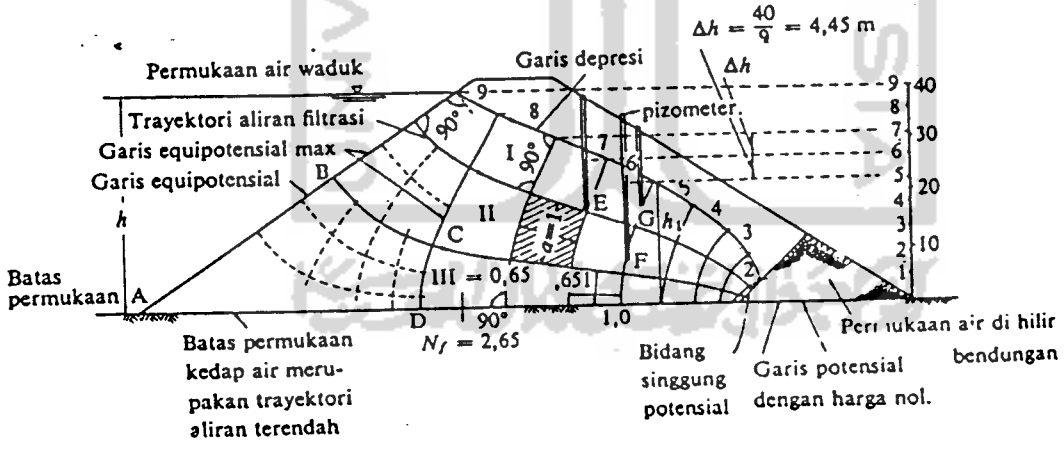
$$\frac{\Delta \psi}{\Delta n} = \frac{\Delta \phi}{\Delta s} \qquad (3.19)$$

3.2.2 Jaringan Trayektori Aliran Filtrasi ("seepage flow net")

Berbagai metode telah dikembangkan untuk membuat jaringan trayektori aliran filtrasi pada bendungan urugan dan metode yang paling sesuai dan sederhana adalah metode

grafis yang diperkenalkan oleh Forchheimer. Dalam penggambarannya memerluakn ketelitian dan letihan yang cukup agar kesalahan yang ditimbulkan bisa sekecil mungkin, dimana penggunaan metode ini mempunyai kelemahan yang menonjol apabila dilakukan oleh tenaga yang kurang berpengalaman.

Contoh jaringan trayektori aliran filtrasi dapat diperhatikan pada gambar 3.7.



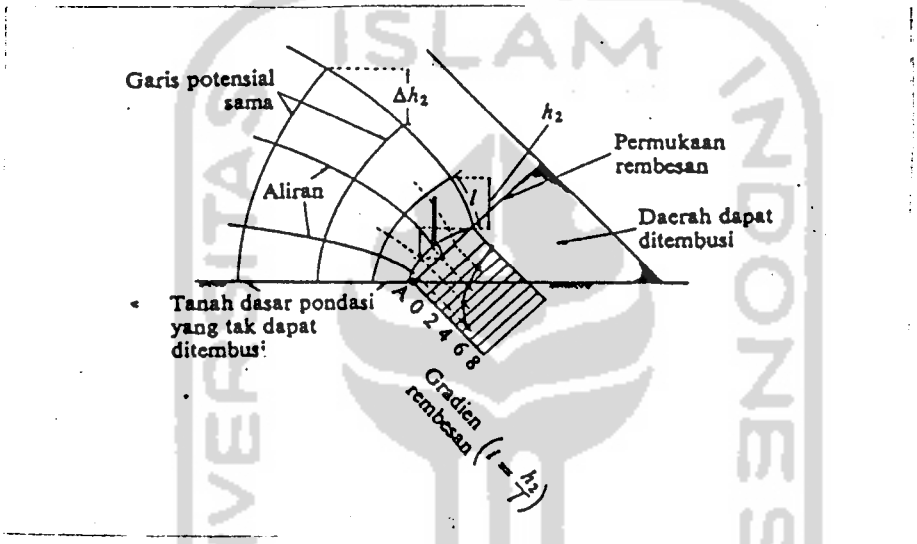
Gambar 3.7 Jaringan trayektori aliran filtrasi dalam tubuh bendungan

Sumber : Bendungan Tipe Urugan, Suyono

Untuk menggambar jaringan trayektori aliran filtrasi melalui sebuah bendungan supaya diperhatikan hal-hal berikut

1. Trayektori aliran filtrasi dengan garis ekipotensial berpotongan secara tegak lurus, sehingga akan membentuk bidang-bidang yang mendekati bentuk-bentuk bujur sangkar atau persegi panjang.
2. Apabila diperhatikan bentuk bidang ABCD (Gambar 7) hanya mendekati bentuk bujur sangkar, akan tetapi apabila bibagi-bagi lagi menjadi bagian yang lebih kecil, maka bentuk bujur sangkarnya akan semakin nyata.
3. Biasanya bidang-bidang yang terbentuk oleh pertolongan trayektori aliran filtrasi dengan garis-garis ekipotensial tersebut diatas lebih mendekati bentuk bentuk persegi panjang dan semua persegi panjang yang terjadi, perbandingan sisi pendek dan sisi panjangnya mendekati harga yang sama.
4. Pada bidang dibawah tekanan atmosfer, dimana aliran filtrasi tersembul keluar, bukan merupakan trayektori aliran filtrasi dan bukan pula merupakan garis ekipotensial karenanya tidak akan terbentuk bidang-bidang berbentuk persegi panjang dan trayektori aliran filtrasi dengan permukaan tersebut tidak akan berpotongan secara vertikal.
5. Garis depresi yang berpotongan dengan bidang dibawah tekanan atmosfer (titik tertinggi tersembulnya aliran filtrasi) tertera pada gambar 8.

6. Titik perpotongan antara garis-garis ekipotensial dengan garis depresi adalah dengan interval (h) yang diperoleh dengan membagi tinggi tekanan air (perbedaan antara elevasi permukaan air dalam waduk dan permukaan air di bagian hilir bendungan) dengan suatu bilangan integer (bilangan bulat).



Gambar 3.8. Gradian Rembesan

Sumber : Bendungan TIpe Urugan, Suyono

3.2.3 Kapasitas Aliran Filtrasi

Kapasitas aliran filtrasi adalah kapasitas air yang mengalir ke hilir melalui tubuh dan pondasi bendungan. Kapasitas filtrasi bendungan mempunyai batas-batas tertentu yang mana apabila kapasitas filtrasi melampaui batas tersebut, maka kehilangan air yang terjadi akan cukup besar, disamping itu kapasitas filtrasi yang besar dapat menimbulkan gejala sufosi ("piping") serta gejala sembulan ("boiling") yang sangat membahayakan tubuh bendungan.

Untuk menentukan besarnya kapasitas filtrasi suatu bendungan (baik yang melalui tubuh bendungan maupun yang melalui lapisan pondasi) dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan trayektori aliran filtrasi atau dengan menggunakan rumus-rumus empiris.

Rumus yang dipakai untuk memperkirakan besarnya kapasitas filtrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi bendungan yang didasarkan pada jaringan trayektori aliran filtrasi adalah

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} K H L \qquad (3.20)$$

dengan :

Q_f = kapasitas aliran filtrasi

N_f = banyaknya alur aliran

N_p = angka pembagi dari garis ekipotensial (potensial drop)

K = koefisien permeabilitas

H = tinggi tekanan air total

L = panjang profil melintang tubuh bendungan

3.2.4 Gejala-gejala sufosi ("piping") dan sembulan ("boiling")

Agar gaya hydrodinamis yang timbul pada aliran filtrasi tidak akan menyebabkan gejala sufosi dan sembulan yang sangat membahayakan baik tubuh bendungan maupun

pondasinya maka kecepatan aliran aliran filtrasi dalam tubuh dan pondasi perlu dibatasi.

Besarnya kecepatan filtrasi tersebut dapat diketahui dengan menggunakan metode jaringan trayektori aliran filtrasi.

Rumus yang digunakan adalah:

$$v = k\, i = k \frac{h_2}{l} \qquad (3.21)$$

dengan :

v = kecepatan pada bidang keluarnya aliran filtrasi

k = koefisien permeabilitas

i = gradien debit

h_2 = tekanan air rata-rata

l = panjang rata-rata berkas elemen aliran filtrasi pada bidang keluarnya aliran filtrasi

BAB IV

TINJAUAN SEMENTASI TIRAI PADA WADUK SERMO

4.1 Umum

Pembangunan Waduk Sermo dimaksudkan untuk menyediakan air irigasi untuk daerah Clereng, Pengasih Pekik jamal terutama pada musim kemarau. Lokasi Waduk berada di Sungai Ngrancah, dusun Sermo Kelurahan Hargo Wilis Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo.

Dengan pembangunan Waduk Sermo diharapkan dapat menunjang peningkatan produktifitas pertanian melalui perluasan areal tanam dan intensitas tanam sehingga dapat memperbaiki standar hidup petani dan menciptakan kesempatan kerja baru di daerah tersebut.

Dengan dibangunnya Waduk Sermo diharapkan produksi beras yang dihasilkan akan ada peningkatan sebesar 46 ribu ton setiap tahun.

Pembangunan waduk adalah salah satu pekerjaan struktur yang bernilai ekonomi tinggi, maka untuk mengantisipasi resiko yang timbul diperlukan perhitungan yang teliti.

Salah satu penyebab kegagalan dan kerusakan dalam beroperasinya waduk adalah rembesan yang berlebihan. Sementasi tirai adalah salah satu bentuk penanganan terhadap rembesan yang terjadi di pondasi bendungan. Pada Tugas Akhir ini akan diuraikan pengaruh sementasi tirai terhadap rembesan pada pondasi bendungan.

4.2 Jenis Dan Dimensi Waduk Sermo

Salah satu hal yang harus diketahui untuk menentukan besarnya kebutuhan sementasi adalah jenis bendungan dan dimensi bendungan tersebut. Jenis bendungan yang dibangun pada waduk Sermo ini adalah jenis bendungan tipe urugan batu dengan inti tegak.

Oleh perencana ditentukan target yang sesuai adalah dengan nilai 1 Lu ($1{,}3 \cdot 10^{-5}$ cm/dt) , karena lapisan pondasi sudah cukup kedap air (Lu ≤ 10).

Untuk lebih meningkatkan faktor keamanan maka pemakaian sementasi tirai 1 baris sebaiknya dihindari. Pada pekerjaan waduk Sermo ini digunakan 2 baris.

Dimensi bendungan juga diperlukan untuk menentukan besarnya rembesan baik yang melewati bendungan maupun pondasi bendungan. Untuk lebih jalasnya dimensi bendungan bisa dilihat pada lampiran B2.

4.3 Keadaan Geologi Lokasi Waduk Sermo

Pengetahuan keadaan geologi akan sangat membantu dalam pelaksanaan sementasi tirai dilapangan. Hal ini dikarenakan apabila terdapat keadaan geologi yang memerlukan penanganan khusus sehubungan dengan pelaksanaan sementasi tirai akan dapat diantisipasi sebelumnya.

Dari penyelidikan dilapangan pada lokasi bendungan diketahui bahwa lapisan pondasi pada bendungan sebagian besar berupa batuan yang masif dan mempunyai kekerasan yang cukup baik. Variasi batuan sebagian besar didominasi

breksi andesit dengan sisipan lava andesit. Kerapatan struktur kekar juga relatif kecil dan cukup keras. Pada pondasi bendungan tidak ditemukan patahan yang akan memerlukan penanganan khusus.

4.4 Desain Sementasi Waduk Sermo

4.4.1 Jarak Tiap Lubang

Penetapan jarak dari masing-masing lubang, dengan mempertimbangkan keadaan geologi pada lokasi, maka ditetapkan jarak antar lubang primer adalah 6 meter, sedang lubang sekunder terletak ditengahnya pada posisi yang berseberangan dari lubang primer masing-masing baris. Antara lubang primer dan lubang sekunder dibuat lubang tersier satu pasang saling berhadapan. Kedua baris tersebut akan membentuk rangkaian lubang dengan jarak 1,5 meter. Sedangkan jarak lubang pada baris satu ke baris kedua berjarak 2 meter. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada lampiran B.

4.4.2 Kedalaman Sementasi Tirai

Kedalaman sementasi tirai ditentukan dengan rumus :

$$D = 1/3\ H + c$$

dengan:

D = kedalaman sementasi (m)

H = tinggi maksimal tekanan air statis (m)

c = konstanta (8-20 m)

Dengan dasar rencana elevasi tinggi air waduk (HWL) mencapai elevasi 140,60 m dan elevasi permukaan galian terendah ± 83,0 m , akan terjadi tinggi maksimal tekanan

air statik ± 57,60 m, dan estimasi rencana kedalaman sementasi tirai pada daerah terendah (alur sungai) akan mencapai ± 30,00 m. Rencana kedalaman tirai kedap air sepanjang sumbu bendungan dapat dilihat pada lampiran.

4.4.3 Rasio Semen Dan Air

Penentuan rasio semen dan air yang digunakan pada pelaksanaan sementasi tirai, harus selalu diingat bahwa tujuan utama dari pemilihan rasio semen dan air ini adalah untuk menggunakan seminimum mungkin air yang dapat menghasilkan fluida yang kuat dengan radius penetrasi yang layak dari lubang sementasi.

Mengingat waktu operasi dan tingkat keamanan yang dipunyai suatu bendungan, maka pembuatan sementasi tirai haruslah mempertimbangkan kekuatan sementasi tersebut untuk waktu selanjutnya.

Perbandingan air dan semen yang disyaratkan pada bendungan Sermo adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Perbandingan air dan semen

Kebutuhan semen (kg/m^3)		Nilai lugeon hasil tes		
dari	ke	< 5	5 - 10	> 10
0	150	3 : 1	2 : 1	1 : 1
150	300	2 : 1	1 : 1	0,8 : 1
300	600	1 : 1	0,8: 1	0,6 : 1
lebih dari 600		atas petunjuk teknis (konsultan)		

BAB V

ANALISIS SEMENTASI TIRAI PADA PONDASI BENDUNGAN

5.1 Umum

Pembangunan bendungan adalah pekerjaan struktur yang beresiko tinggi, maka faktor keamanan menjadi sangat penting dan harus diperhitungakan secara teliti. Rembesan yang berlebihan pada bendungan menjadi salah satu penyebab kerusakan yang cukup dominan. Sementasi tirai adalah salah satu bentuk penanganan terhadap rembesan yang terjadi di bawah bendungan.

Pada bagian ini akan diuraikan kedalaman sementasi tirai dengan teori rembesan dan pengaruh sementasi tirai terhadap bahaya rembesan pada bendungan.

5.2 Analisis Kedalaman Sementasi Tirai dengan Menggunakan Teori Rembesan

Untuk menentukan kedalaman sementasi tirai yang diperlukan dengan teori rembesan, dibutuhkan data permeabilitas dari daerah yang ditinjau, luas daerah, tingkat permeabilitas yang diijinkan dan besarnya beda tinggi muka air di bagian hulu dan hilir bendungan, rumus yang digunakan adalah rumus Darcy.

Langkah pertama adalah menghitung besarnya debit ijin rembesan untuk nilai permeabilitas yang ditetapkan. Dengan menggunakan debit rembesan ijin, dapat dicari luas daerah yang tercakup apabila digunakan nilai permeabilitas yang ada di lapangan.

Pada Tugas Akhir ini akan dibahas kedalaman sementasi tirai pada alur sungai, yaitu daerah yang mempunyai tinggi tekanan paling besar. Dari gambar perencanaan sementasi tirai bagian alur sungai pada as bendungan mempunyai luas A = 660 m^2 (dihitung) dan target perbaikan pondasi adalah 1 Lu ($1,3 \times 10^{-5}$ cm/det).

Nilai permeabilitas yang mewakili daerah alur sungai pada titik yang akan di sementasi adalah 8×10^{-5} cm/det, besarnya tinggi tekanan adalah h = 140,60 - 83,00 =57,60 m panjang garis rembesan L = 150 m. Gradien hidrolik i = h/l = 57,6/150 = 0,384.

Berdasarkan data diatas maka dapat dihitung kedalaman sementasi tirai dengan rumus rembesan.

Q rembesan ijin = A.k.i

$= (660 \times 10^4) (1,3 \times 10^{-5}) 0,384$

$= 32,95$ cm^3/det = 0,3295 lt/det.

Q = A.k.i

$32,95 = A.(8 \times 10^{-5}) 0,384$

A = 1072591,15 cm^2 = 107,26 m^2.

Dengan menghitung besarnya luas yang diijinkan tersebut dan diketahui lebar B = 22 m maka kedalaman H = 107,26/22 = 4,875 m. Dengan demikian kedalaman yang diperlukan adalah kurang lebih 30 - 4,875 = 25,125 m (30 m adalah kedalaman yang ditinjau).

Dari perhitungan diatas maka dari disain kedalaman sementasi tirai pada waduk Sermo yaitu sedalam 30 m, sudah memadai dan tidak terlalu besar perbedaannya.

5.3 Analisis Rasio Semen dan Air

Untuk menentukan rasio semen dan air yang digunakan pada pelaksanaan sementasi tirai, haruslah diingat bahwa tujuan utama dari pemilihan rasio semen dan air ini adalah untuk menggunakan seminimum mungkin air yang dapat menghasilkan fluida pengisi yang kuat dengan radius penetrasi yang diharapkan.

Pembuatan sementasi tirai haruslah mempertimbangkan kekuatan sementasi tirai tersebut dalam masa selanjutnya. Campuran yang terlalu encer akan menyebabkan ketahanan yang rendah. Apabila ini terjadi maka proses sementasi ulang akan memakan biaya yang mahal.

Untuk menentukan campuran yang tepat, bantuan dari ahli geologi sangat diperlukan untuk menentukan retakan yang ada pada lokasi sementasi. Dari penyelidikan geologi didapatkan informasi bahwa retakan pada waduk Sermo berukuran normal.

Berdasarkan data dimensi dan penetrasi yang diinginkan maka penentuan rasio semen air yang akan digunakan dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus dari Koerner (2.2).

$$r = 0{,}62 \times \left(\frac{R\ g\ t}{n}\right)^{1/3} \quad \text{maka}$$

$$R = \frac{r^3\ n}{0{,}62^3\ g\ t}$$

dengan memasukkan nilai :

r = 1,5 m = 4,92126 ft

g = 32,2 ft/dt

t = 20 menit

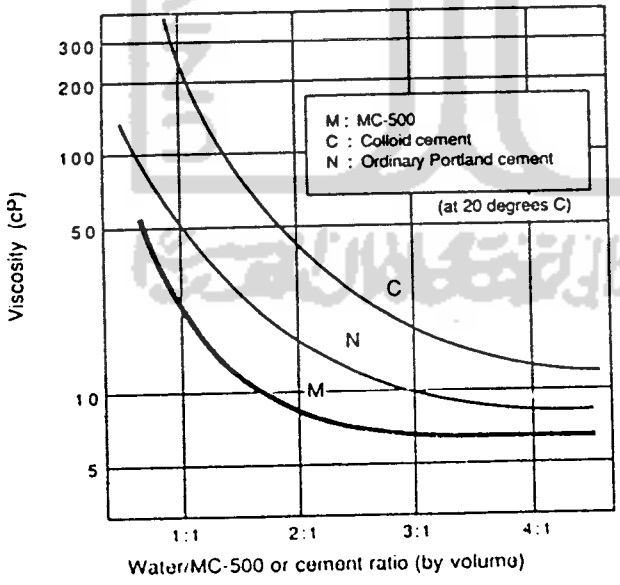
n = 0,35

didapat :

$$R = \frac{\mu \text{ air}}{\mu \text{ as}} = 0{,}272. \qquad \text{asumsi } \mu \text{ air} = 1 \text{ cP (pada } 20^{o} \text{ c)}$$

$$\mu \text{ as} = \frac{\mu \text{ air}}{0{,}272} = \frac{1}{0{,}272} = 3{,}676 \text{ cP.}$$

Dari gambar 5.1 grafik viskositas fluida pengisi dengan rasio fluida dan air dalam volume didapat besarnya perbandingan semen : air yang diperlukan 1 : 4 untuk jenis semen (portland cemen biasa).



Gambar 5.1 Grafik hubungan viskositas dengan rasio semen air

Untuk memperkirakan banyaknya fluida pengisi yang diperlukan dihitung permeter kedalaman.

$V = \pi r^2 n$

dimana:

r : jari-jari penetrasi = 1,5 m

n : porositas = 0,35

V : volume yang diperlukan permeter kedalaman

didapat:

$V = \pi r^2 n = \pi 1{,}5^2 \; 0{,}35 = 2{,}474 \; m^3/m = 2474 \; l/m$

Berdasar perbandingan rasio semen : air = 1 : 4

$$\text{Jumlah semen yang diperlukan} = \frac{2474}{5} \times 1 = 494{,}8 \text{ lt/m}$$

$$\text{Jumlah air yang diperlukan} = \frac{2474}{5} \times 4 = 1979{,}2 \text{ lt/m}$$

Dari hasil perhitungan dengan rumus Koerner di dapat perbandingan semen : air = 1 : 4, sedangkan yang disyaratkan paling maksimum 1 : 3. Perbedaan antara hasil perhitungan dengan keadaan dilapangan tidak terlalu besar, hal ini masih bisa diterima karena dalam persyaratan perbandingan semen air disesuaikan dengan kebutuhan semen.

Pertentangan mengenai penggunaan campuran yang kental maupun yang encer pada pelaksanaan sementasi masih berlangsung sampai sekarang. Tetapi pada umumnya penggunaan campuran yang kental lebih disukai karena faktor kestabilan campuran dan daya tahannya terhadap pengaruh air pada masa operasi waduk.

Untuk mencegah terjadinya gejala segregasi fluida sementasi, maka setiap campuran ditambah bentonit sebanyak 2 - 5% dari berat semen. Bentonit akan mengikat butiran semen sehingga stabil dalam larutan dan mencegah sedimentasi material semen.

Dalam pelaksanaannya pemakaian rasio semen air dimulai dengan campuran yang encer kemudian miningkat ke campuran yang lebih kental sesuai kebutuhan.

5.4 Hasil Hitungan Debit Rembesan Dan Kecepatan Filtrasi pada Pondasi Bendungan

Untuk menganalisa besarnya debit rembesan dan kecepatan filtrasi yang melalui pondasi bendungan maka dipakai asumsi bahwa:

1. Tubuh bendungan (lapisan inti) dianggap kedap air (seperti bendungan beton).
2. Hasil sementasi tirai dianggap selaput kedap air (sheet pile).
3. Tanah dianggap isotropis (kh = kv).

Untuk mendapatkan hasil analisis yang cukup baik pengaruh penggunaan sementasi tirai pada pondasi bendungan, maka dilakukan simulasi terhadap sementasi tirai dengan kondisi:

1. tanpa sementasi tirai.
2. menggunakan sementasi tirai 1 baris, kedalaman 30 m.
3. menggunakan sementasi tirai 2 baris (aktual), kedalaman 30 m.
4. menggunakan sementasi tirai 3 baris, kedalaman 30 m.

Dalam menghitung besarnya debit dan kecepatan filtrasi, masing-masing keadaan diatas digambarkan jaringan trayektori aliran filtrasinya. Gambar jaringan trayektori dapat dilihat pada lampiran A.

Untuk memudahkan perhitungan maka dibuat program sederhana dengan menggunakan bahasa basic yang dapat dilihat pada lampiran A5 , sedangkan hasil perhitungan dari masing-masing kondisi yang berdasarkan gambar jaringan trayektori aliran filtrasi pada lampiran A terlihat pada tabel 5.1

Tabel 5.1 Perbandingan masing-masing kondisi besarnya debit rembesan dan kecepatan filtrasi

Kondisi	Debit rembesan m^3/det/m	Kecepatan filtrasi m/det
1.	$2{,}03 \cdot 10^{-5}$	$6{,}35 \cdot 10^{-7}$
2.	$1{,}52 \cdot 10^{-5}$	$4{,}09 \cdot 10^{-7}$
3.	$1{,}41 \cdot 10^{-5}$	$2{,}49 \cdot 10^{-7}$
4.	$1{,}31 \cdot 10^{-5}$	$8{,}96 \cdot 10^{-8}$

Tabel diatas adalah perhitungan debit rembesan tiap meter panjang, sedangkan besarnya debit rembesan pada pondasi sepanjang tubuh bendungan terlihat pada tabel 5.2 berikut ini

Tabel 5.2 Besarnya debit rembesan pada pondasi sepanjang tubuh bendungan

Kondisi	Debit rembesan m^3/det
1.	$3,857 \cdot 10^{-3}$
2.	$2,888 \cdot 10^{-3}$
3.	$2,679 \cdot 10^{-3}$
4.	$2,489 \cdot 10^{-3}$

5.4.1 Analisis Debit Rembesan Pondasi Bendungan

Dari hasil perhitungan terlihat adanya penurunan debit rembesan pada setiap kondisi. Penurunan terbesar terjadi pada kondisi 1 ke kondisi 2 yaitu dari kondisi tanpa sementasi tirai ke kondisi dengan sementasi tirai satu baris. Pada kondisi menggunakan sementasi tirai penurunan debit rembesan dengan variasi jumlah baris yang berbeda hasilnya tidak begitu besar.

Pada pelaksanaan dilapangan dipilih variasi minimal 2 baris sementasi tirai ini disebabkan untuk menjamin kekedapan sementasi tirai. Penggunaan 1 baris sementasi tirai sebenarnya sudah dapat mengurangi rembesan pada pondasi, tetapi hal ini terlalu riskan jika terjadi kebocoran atau kegagalan sementasi tirai maka akan sulit untuk mengatasinya.

5.4.2 Analisis Kecepatan Filtrasi Pondasi Bendungan

Penurunan kecepatan filtrasi terjadi cukup besar jika dibandingkan dengan penurunan rembesan, hal ini terlihat dari hasil perhitungan sebelum adanya sementasi tirai

dibandingkan dengan setelah adanya sementasi tirai. Penurunan yang cukup besar ini disebabkan garis aliran yang dilewati air menjadi lebih panjang jika dibandingkan dengan sebelum adanya sementasi tirai. Pada perhitungan fdiambil contoh kecepatan filtrasi pada dasar bendungan.

Pada variasi jumlah baris sementasi tirai penurunan juga cukup besar, hal ini karena air akan menyusuri mengikuti sisi sementasi tirai.

Dengan penurunan kecepatan filtrasi yang cukup besar ini maka bahaya boiling akan bisa ditekan sehingga tidak membahayakan tubuh bendungan. Dari hasil pengalaman biasanya kerusakan bendungan bermula dari adanya sembulan yang lama-lama akan membawa butiran tanah lepas dari tubuh bendungan, sehingga lama-kelamaan akan meruntuhkan tubuh bendungan itu sendiri.

5.5 Kehilangan Air Akibat Rembesan pada Tubuh Bendungan dan Pondasi Bendungan.

Dengan digunakannya sementasi tirai pada waduk Sermo, maka diharapkan akan mengurangi kehilangan air yang disebabkan rembesan pada pondasi bendungan. Besarnya kehilangan air yang disebabkan rembesan pada pondasi sudah dijelaskan pada sub bab 5.4.1, sedangkan besarnya kehilangan air yang melalui tubuh bendungan adalah sebesar $1{,}177 \cdot 10^{-4}$ m^3/det.

Besarnya kehilangan air total pada masing-masing kondisi seperti di sub bab 5.4.1 adalah terlihat pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Besarnya kehilangan air total

Kondisi	Debit rembesan m^3/det	Kehilangan air total m^3/th
1.	$3,9747 . 10^{-3}$	125346,13
2.	$3,0057 . 10^{-3}$	94787,76
3.	$2,7967 . 10^{-3}$	88196,73
4.	$2,6067 . 10^{-3}$	82204,89

Dari besarnya kehilangan air total dari masing-masing kondisi selama 1 tahun jika dibandingkan dengan volume bersih bendungan sebesar 21.900.000 m^3, sangat kecil. Pada kondisi tanpa sementasi tirai kehilangan air kurang lebih 0,57 % selama 1 tahun dari volume bendungan, jika digunakan sementasi tirai kehilangan air akan semakin kecil. Pada kondisi aktual dengan menggunakan sementasi 2 baris kehilangan air menjadi 0,403 % dari volume bendungan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari pembahasan tentang sementasi tirai dan pengaruhnya terhadap rembesan pada bendungan (data waduk Sermo) pada bab-bab terdahulu, maka pada bab ini diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari perencanaan kedalaman sementasi tirai pada waduk Sermo yang menggunakan rumus empiris dari Simmonds setelah dilakukan analisis dengan teori rembesan ternyata telah cukup memenuhi syarat untuk memperpanjang lintasan rembesan.
2. Penggunaan rasio semen air dilapangan sudah memenuhi syarat, ini terlihat setelah dilakukan analisis dengan rumus dari Koerner, hasilnya sudah mendekati.
3. Debit rembesan sebelum adanya sementasi dengan setelah adanya sementasi terjadi penurunan yang cukup berarti.
4. Ditinjau dari rembesan dengan perlakuan seperti pada Tugas Akhir ini penggunaan Sementasi Tirai pengaruhnya tidak begitu besar.
5. Kecepatan filtrasi mengalami penurunan yang besar sebelum sementasi tirai dengan setelah adanya sementasi tirai, hal ini karena hasil sementasi tirai diasumsikan sebagai "sheet pile".

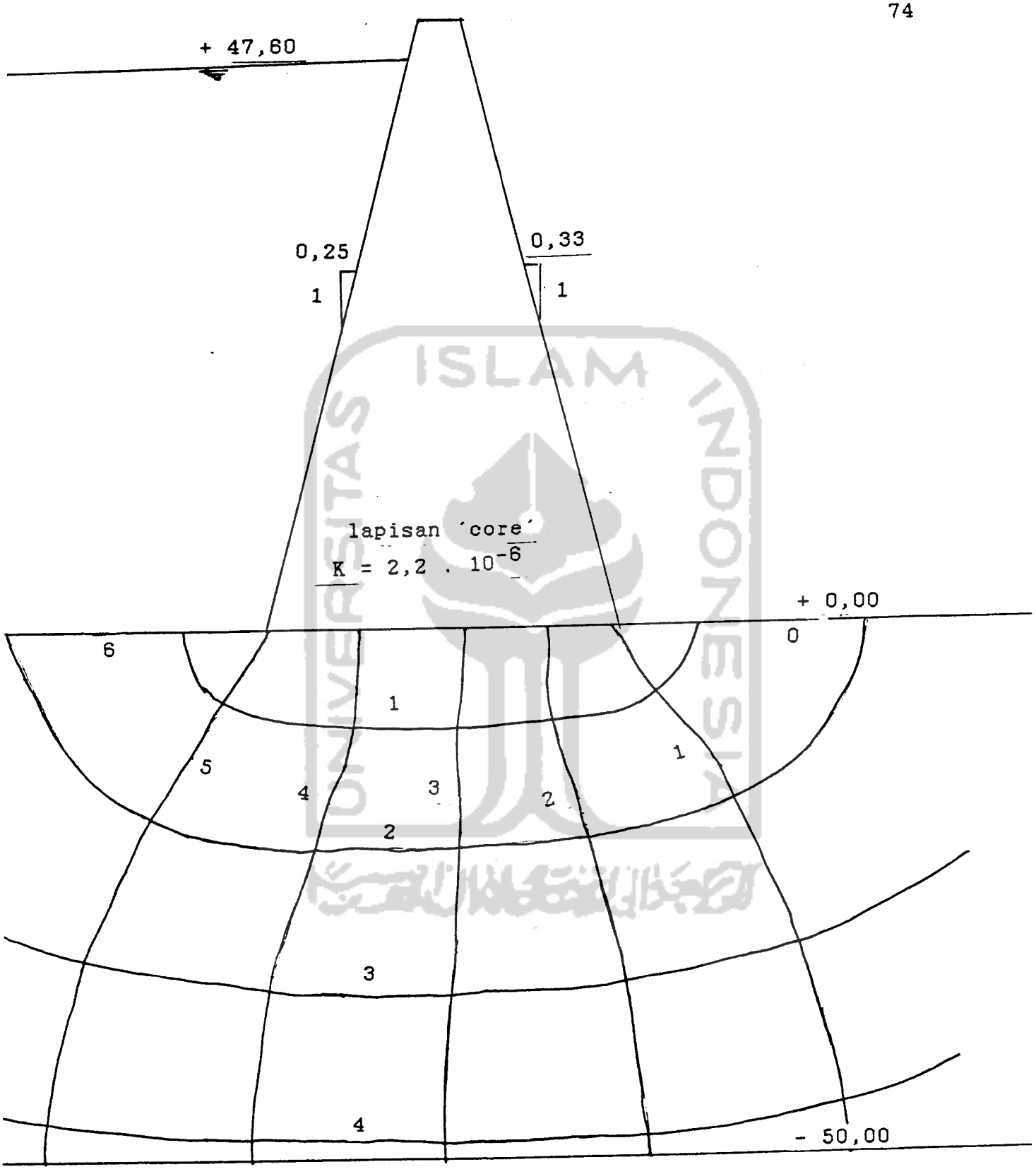
6.2 Saran

1. Dalam menentukan rasio semen air harus dilakukan secara hati-hati, karena akan mempengaruhi hasil sementasi.
2. Pelaksanaan sementasi tirai sebaiknya diikuti dengan sementasi yang lain, yaitu sementasi selimut dan sementasi konsolidasi sehingga asumsi sementasi tirai sebagai sheet pile akan terpenuhi.
3. Untuk mengetahui lebih lanjut tentang pentingnya sementasi tirai terhadap pondasi suatu bendungan, perlu diadakannya penelitian tentang pengaruh sementasi tirai terhadap daya dukung tanah.

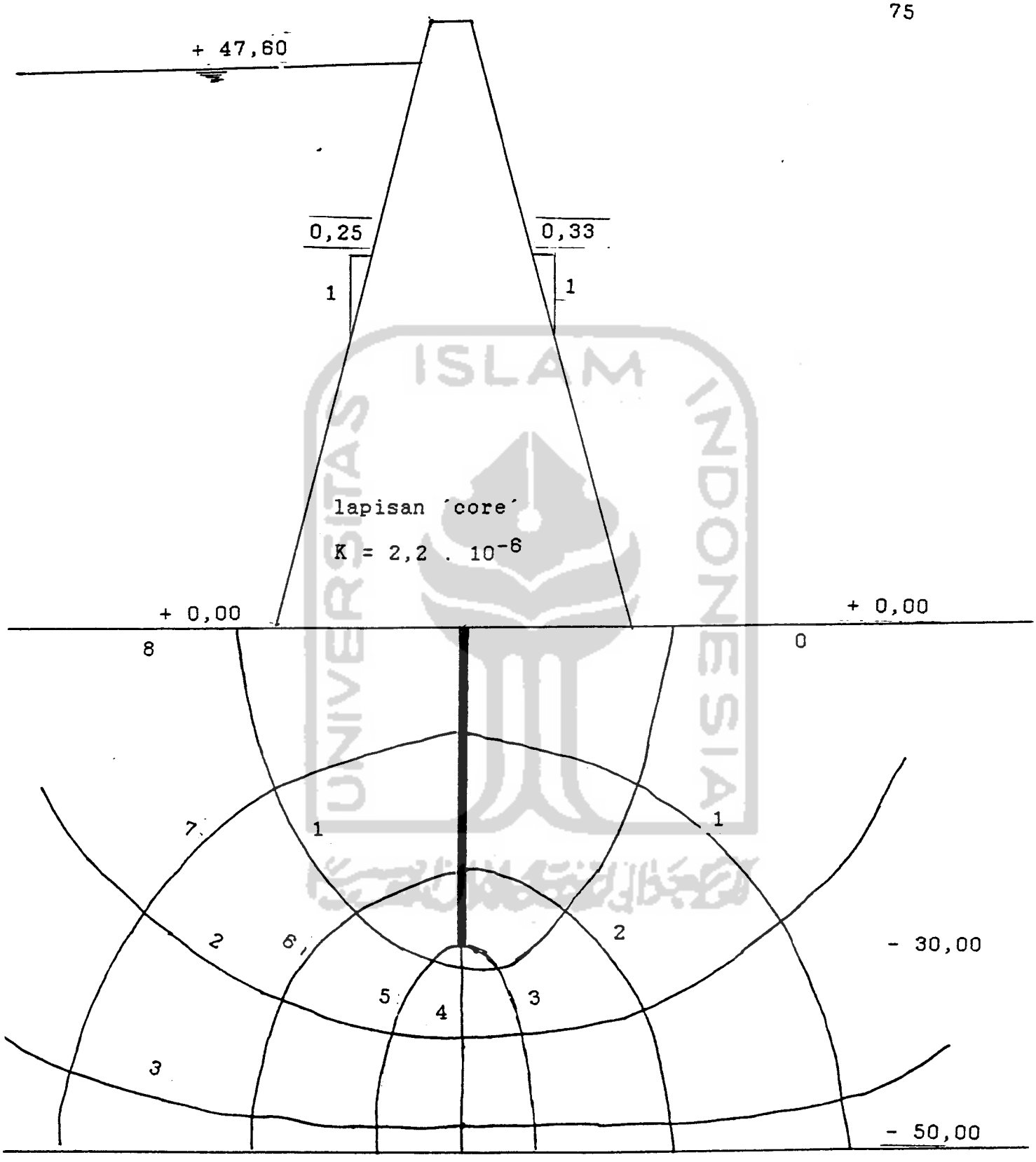
DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 1984, **CONTRACT AGREEMENT VOLUME 2,3,4**, Hyundai-PT. Duta Graha Indah (JO) and Government of Republic of Indonesia, Jakarta.
2. Anonim, 1985, **LAPORAN PEKERJAAN PENGUKURAN DAN GEOTEKNIK BENDUNGAN SERMO**, PT Indra Karya,Jakarta.
3. Daruslan, 1994, **MEKANIKA TANAH II**, Biro penerbit KMTS UGM.
4. Houlsby Adam Clive, 1982, **CEMENT GROUTING FOR DAMS**, Proceeding of the conference on Grouting In Geotechnical Engineering, New Orleans Louisiana.
5. Houlsby Adam Clive ,1982,**OPTIMUM WATER CEMENT RATIO FOR ROCK GROUTING** , Proceedings of the Conference an Grouting in Geotechnical Engineering, New Orleans, louisiana.
6. Koerner, Robert M, **CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL METHODS IN FOUNDATION ENGINEERING**, New York : McGraw-Hill Book Company.
7. Manfred R Housmann, 1990, **ENGINEERING PRINCIPLES OF GROUND MODIFICATION**.
8. RF. Craig, 1974 **SOIL MECHANICS**, Van Nostrand Reinhold Company.
9. Sudibyo, 1989 **TEKNIK BENDUNGAN**, Jakarta PT Pradnya Paramita.
10. Sosrodarsono, Suyono, dan Takeda, Kensaku, 1977, **BENDUNGAN TIPE URUGAN**, Jakarta PT Pradnya Paramita.

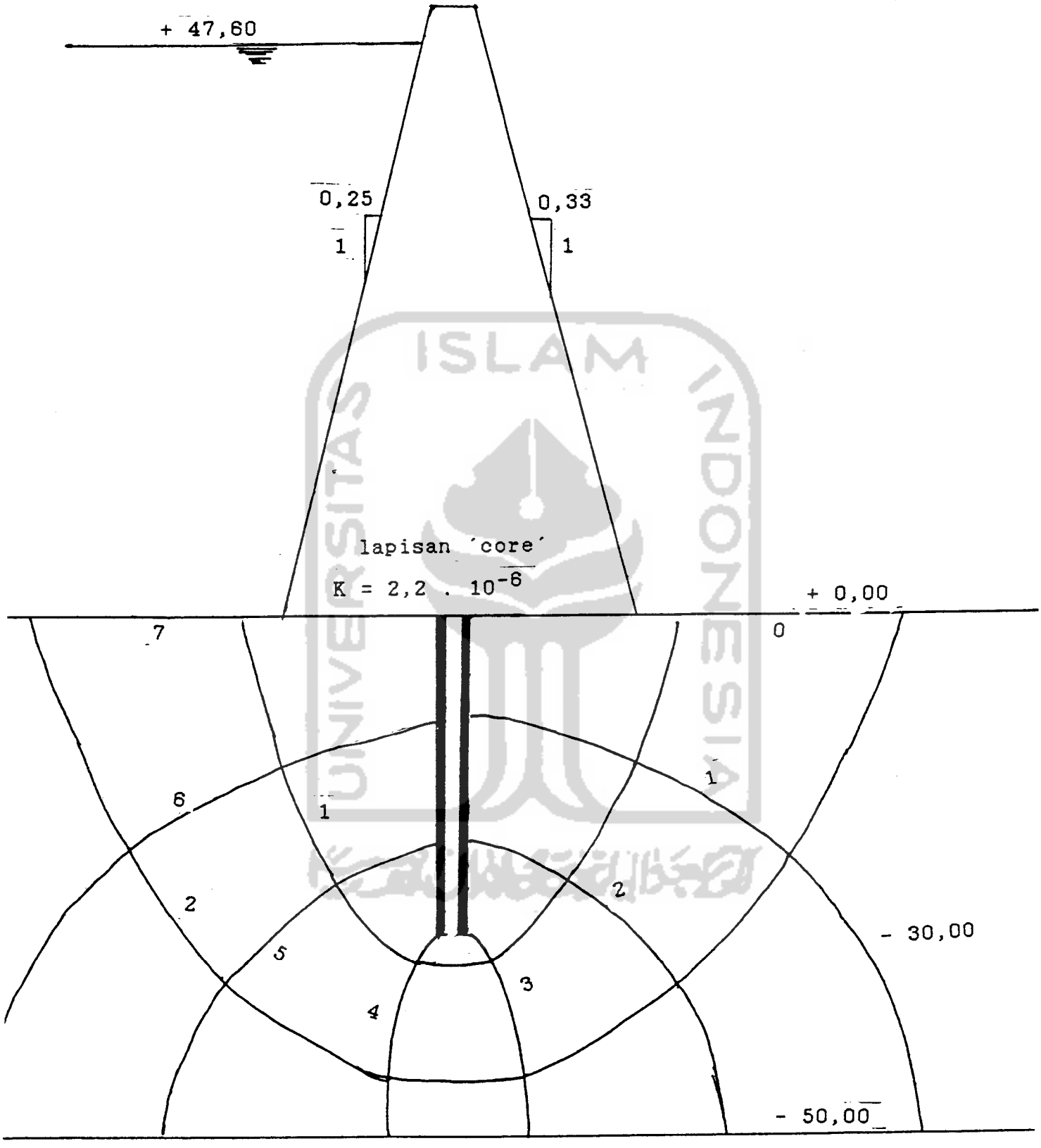
LAMPIRAN A



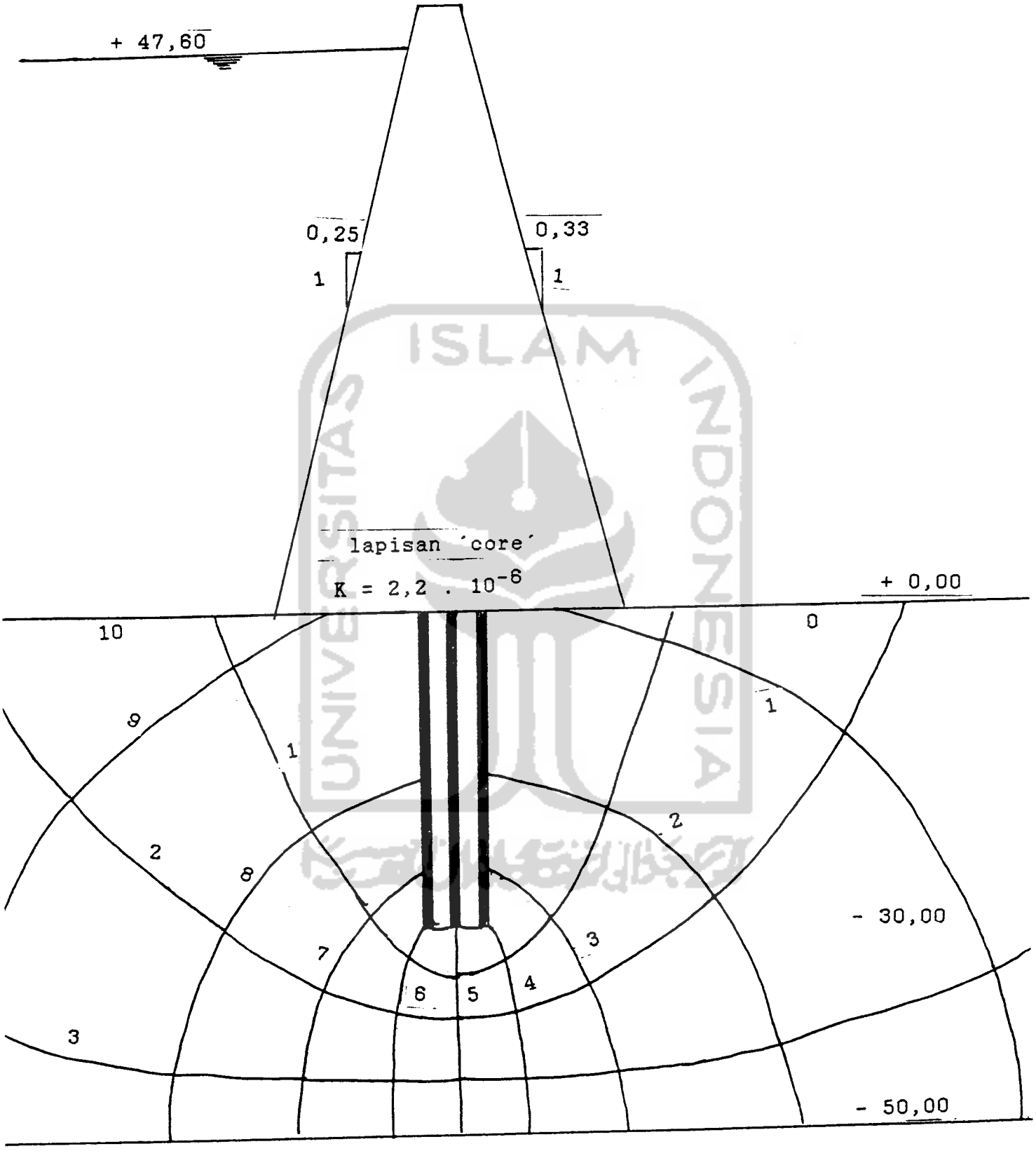
Gambar A-1 Flownet tipe semantasi tipi



Gambar A-2. Flownet dengan sementasi tirai 1 baris



Gambar A-3. Flow net dengan sementasi tirai 2 baris
(Kondisi aktual)



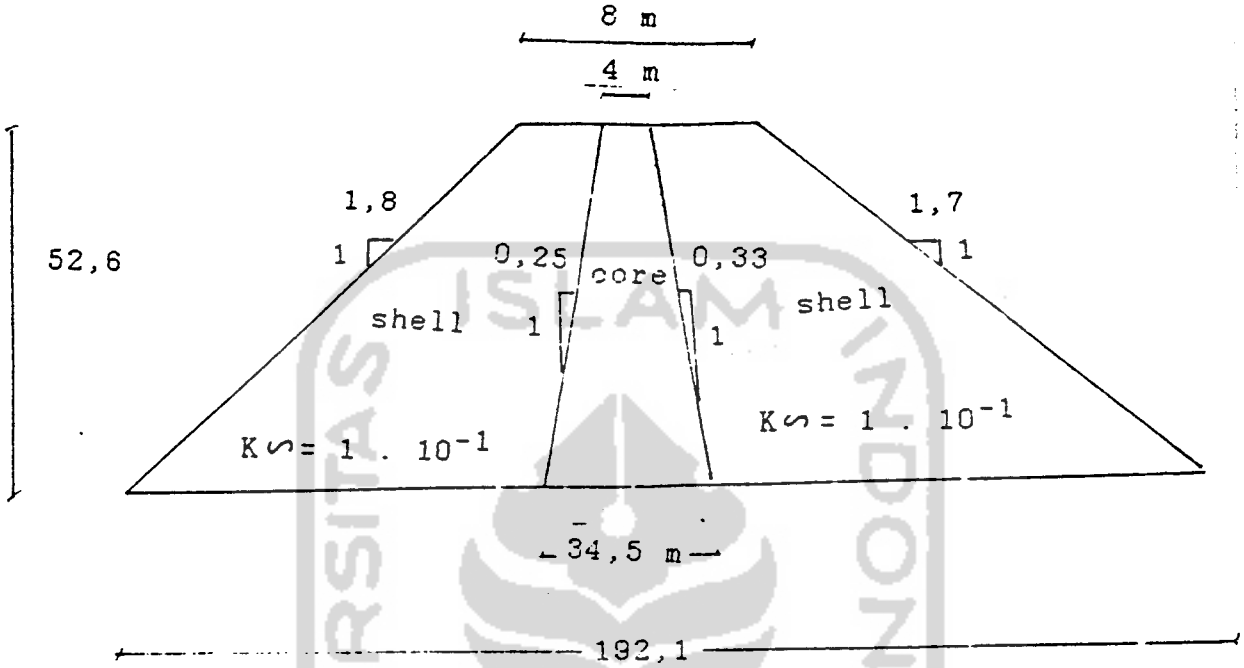
Gambar A-4. Flow net dengan sementasi tirai 3 baris

```
5 REM *** PROGRAM MENGHITUNG DEBIT REMBESAN DAN KECEPATAN FILTRASI ***
10 K = 8*10^-7 : H = 47.6
20 INPUT "BANYAKNYA KASUS:",N
30 FOR I =1 TO N
40 INPUT"BANYAKNYA GARIS ALIRAN (I):",NF(I)
42 INPUT"BANYAKNYA POTENSIAL DROP (I):",ND(I)
44 INPUT"PANJANG GARIS ALIRAN (I):",L(I)
50 NEXT I
55 PRINT "~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~"
70 FOR J = 1 TO N
80 X(J) = NF(J)*K*H
90 QF(J) = X(J)/ND(J)
100 Y(J) = K*H
110 V (J) = Y(J)/L(J)
120 NEXT J
140 PRINT "KASUS","QF M^3/DET","V M/DET"
150 FOR M = 1 TO N
160 PRINT USING "##    ##.############    ##.############ ";M,QF(M),V(M)
170 NEXT M
175 PRINT "~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~"
190 END

BANYAKNYA KASUS:4
BANYAKNYA GARIS ALIRAN (I):3.2
BANYAKNYA POTENSIAL DROP (I):6
PANJANG GARIS ALIRAN (I):60
BANYAKNYA GARIS ALIRAN (I):3.2
BANYAKNYA POTENSIAL DROP (I):8
PANJANG GARIS ALIRAN (I):93
BANYAKNYA GARIS ALIRAN (I):2.6
BANYAKNYA POTENSIAL DROP (I):7
PANJANG GARIS ALIRAN (I):152.5
BANYAKNYA GARIS ALIRAN (I):3.45
BANYAKNYA POTENSIAL DROP (I):10
PANJANG GARIS ALIRAN (I):425
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
KASUS          QF M^3/DET     V M/DET
 1      0.000020309330      0.000000634667
 2      0.000015232000      0.000000409462
 3      0.000014144000      0.000000249705
 4      0.000013137600      0.000000089600
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
O
LLIST
O

1LIST   2RUN 3LOAD"  4SAVE"  5CONT6,"LPT1 7TRON8TROFFKEY     OSCREEN
```

CONTOH PERHITUNGAN DEBIT REMBESAN PADA TUBUH BENDUNGAN

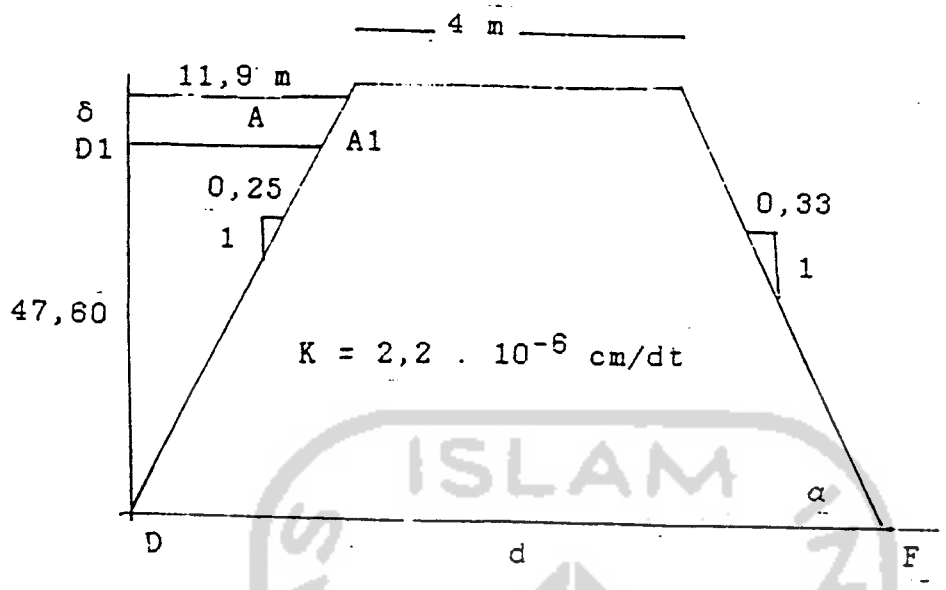


Dalam penggambaran garis rembesan harus dihittung dahulu perbandingan koefisien permeabilitasnya.

$$\frac{K1}{K2} = \frac{1 \cdot 10^{-1}}{2{,}2 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 45454{,}5 > 10$$

Karena perbandingan permeabilitas "shell" dan "core" lebih besar dari 10 maka "shell" dapat dianggap sebagai udara, sehingga seolah-olah bendungan hanya terdiri dari "core" saja. Dengan demikian bentuk garis rembesan dan debit rembesan adalah berdasar "core" saja.



Koordinat titik A: XA = d

= FD - 0,7 A1D1

= 34,5 - 0,7 . 11,9

= 26,17 m

YA = 47,6 m

Titik A terletak pada parabola, maka

$$YA^2 = 2.p.XA + p^2$$

$$47,6^2 = 2.p.26,17 + p^2$$

$$p^2 + 52,34\ p - 2265,76 = 0$$

p = 28,15 m

Rumus untuk menghitung debit rembesan untuk $\alpha > 30^o$ adalah

Q = k . p maka:

Q = 2,2 . 10^{-8} . 28,15

= 6,193 . 10^{-7} m^3/det

jadi debit rembesan sepanjang tubuh bendungan

Q = 6,193 . 10^{-7} . 190

= 1,177 . 10^{-4} m^3/det

LAMPIRAN B