

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Geologi Daerah Bendungan Seulimeum

Berdasarkan Peta Geologi Regional lembar Banda Aceh, secara regional terlihat bahwa di wilayah aceh dan sekitarnya merupakan suatu depresi yang dikontrol oleh sistem sesar yang terbentuk mulai kala Miosen Atas, yaitu Sesar Lam Teuba-Baro di bagian utara dan Sesar banda Aceh-Anu dibagian selatan. Sesar-sesar tersebut merupakan kepanjangan dari sesar utama Pulau Sumatra, yaitu Sesar Semangko yang sampai saat ini masih aktif.

4.1.1 Hasil Investigasi Geologi Bendungan Seulimeum

Kondisi geologi dan sifat-sifat teknis batuan pondasi calon bendungan utama dapat diketahui dari hasil pemboran inti dan pengujian in-situ (SPT dan Uji Permeabilitas). Investigasi geologi pada Bendungan Seulimeum secara khusus dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

1. Didaerah hulu bendungan (*up stream dam*)
2. Pada poros bendungan (*as dam*)
3. Didaerah hilir bendungan (*downstream dam*)

Mesin bor yang digunakan yaitu jenis Toho D2G, dengan diameter pipa lindung (*casing*) 89 mm.

A. Kondisi Geologi pada Hulu Bendungan (*Upstream Dam*)

Di lokasi hulu bendungan dilakukan pemboran sebanyak 2 titik, yaitu : titik BSD-1 pada koordinat X = 788309,75; Y = 592021,90 dan BSD-2 pada koordinat X = 788141,53; Y = 592022,36. Berdasarkan hasil log pemboran inti PT Wahana Adya hasilnya sebagai berikut :

➤ Titik BSD-1

Kedalaman lubang bor ini sedalam 25 meter, pada elevasi muka tanah +44,00. Dari deskripsi symbol litologi pada kedalaman 0 – 0,70 meter didominasi oleh campuran (kerakal, kerikil, pasir kasar sampai dengan halus, dan lanau) dengan warna abu-abu. Kemudian pada kedalaman 0,70 – 24 meter didominasi oleh batu lanau lempung, abu-abu, butir halus sampai dengan sangat halus, tersemen lemah

sampai sedang, padat sampai sedang, dengan sisipan cangkang kerang dan arang/organik berlapis-lapis.

Nilai permeabilitas (k) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 7 m, $k = 4,16 \times 10^{-5}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 7 – 12 m, $k = 1,02 \times 10^{-5}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 12 – 17 m, $k = 7,78 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 17 – 22 m, $k = 4,91 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 22 – 25 m, $k = 1,20 \times 10^{-5}$ cm/det

Nilai RQD (Rock Quality Designation) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 1 m, RQD = 0 %
- ▲ Kedalaman 1 – 25 m, RQD = 100%

Nilai Lugeon (Lu) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 7 m, Lu = 3,22
- ▲ Kedalaman 7 – 12 m, Lu = 0,79
- ▲ Kedalaman 12 – 17 m, Lu = 0,60
- ▲ Kedalaman 17 – 22 m, Lu = 0,38
- ▲ Kedalaman 22 – 25 m, Lu = 1,04

➤ Titik BSD-2

Kedalaman lubang bor ini 25 meter, pada elevasi muka tanah +43,00. Dari deskripsi symbol litologi pada kedalaman 0 – 2,5 meter merupakan campuran kerakal, kerikil, pasir kasar sampai dengan halus dan lanau warna abu-abu. Kemudian pada kedalaman 2,5 – 24 meter didominasi oleh batulanau lempungan, warna abu-abu, butir halus sampai dengan sangat halus, tersemen lemah, kepadatan sedang sampai dengan padat berlapis lapis dengan sisipan pecahan kerang dan arang.

Nilai permeabilitas (k) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 7 m, $k = 1,99 \times 10^{-4}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 7 – 12 m, $k = 8,48 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 12 – 17 m, $k = 6,67 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 17 – 22 m, $k = 6,38 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 22 – 25 m, $k = 1,30 \times 10^{-5}$ cm/det

Nilai RQD (Rock Quality Designation) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 2 m, RQD = 0 %
- ▲ Kedalaman 2 – 3 m, RQD = 50%

▲ Kedalaman 3 – 25 m,	RQD = 100%
Nilai Lugeon (Lu) berdasarkan kedalaman :	
▲ Kedalaman 0 – 7 m,	Lu = 15,37
▲ Kedalaman 7 – 12 m,	Lu = 0,66
▲ Kedalaman 12 – 17 m,	Lu = 0,52
▲ Kedalaman 17 – 22 m,	Lu = 0,49
▲ Kedalaman 22 – 24 m,	Lu = 1,12

B. Kondisi Geologi pada Poros Bendungan (*As Dam*)

Pada lokasi poros bendungan dilakukan pemboran sebanyak 2 titik, yaitu : titik BSD-3 pada koordinat X = 788168,50; Y = 592161,68 dan titik BSD-4 pada koordinat 788111,42; Y = 592161,79. Berdasarkan hasil log pemboran inti PT Wahana Adya hasilnya sebagai berikut :

➤ Titik BSD-3

Kedalaman lubang bor ini 25 meter, pada elevasi muka tanah +43,00. Dari deskripsi symbol litologi pada kedalaman 0 – 4,75 meter merupakan campuran (gravel atau krakal, kerikil, pasir kasar, pasir halus) lanau, berwarna abu-abu. Sedangkan pada kedalaman 4,75 – 25 meter merupakan batulanau lempungan, berwarna abu-abu, butir halus sampai dengan sangat halus, padat sampai dengan sangat padat, tersemen lemah sampai sedang, berlapis lapis, ada serpihan cangkang kerang dan sisa karbon.

Nilai permeabilitas (k) berdasarkan kedalaman :

▲ Kedalaman 0 – 7 m,	$k = 1,29 \times 10^{-3}$ cm/det
▲ Kedalaman 7 – 12 m,	$k = 6,27 \times 10^{-6}$ cm/det
▲ Kedalaman 12 – 17 m,	$k = 7,48 \times 10^{-6}$ cm/det
▲ Kedalaman 17 – 22 m,	$k = 7,18 \times 10^{-6}$ cm/det

Nilai RQD (Rock Quality Designation) berdasarkan kedalaman :

▲ Kedalaman 0 – 5 m,	RQD = 0 %
▲ Kedalaman 5 – 25 m,	RQD = 100%

Nilai Lugeon (Lu) berdasarkan kedalaman :

▲ Kedalaman 0 – 7 m,	Lu = 100,16
▲ Kedalaman 7 – 12 m,	Lu = 0,49
▲ Kedalaman 12 – 17 m,	Lu = 0,52
▲ Kedalaman 17 – 22 m,	Lu = 0,58

Nilai SPT (*Standart Penetration Test*) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 5 m, jenis batuan batulanau lempungan, nilai SPT $N > 50$
- ▲ Kedalaman 10 m, jenis batuan batulanau lempungan, nilai SPT $N > 50$
- ▲ Kedalaman 15 m, jenis batuan batulanau lempungan, nilai SPT $N > 50$
- ▲ Kedalaman 20 m, jenis batuan batulanau lempungan, nilai SPT $N > 50$
- ▲ Kedalaman 25 m, jenis batuan batulanau lempungan, nilai SPT $N > 50$

Berdasarkan hasil uji SPT tersebut maka diketahui bahwa batulanau lempungan bersifat kompak dan mempunyai kekuatan geser relatif tinggi.

➤ Titik BSD-4

Kedalaman lubang bor ini 70 meter, pada elevasi muka tanah +53,50. Dari deskripsi symbol litologi pada kedalaman 0 – 1 meter merupakan top soil lempung lanauan, berwarna coklat tua, lunak, ada akar, plastisitas tinggi sampai dengan sedang. Sedangkan pada kedalaman 1 – 3,5 meter merupakan pasir lanauan, berwarna abu-abu kecoklatan, butir halus, kepadatan sedang, plastisitas rendah dengan pecik-pecik tufa putih, ada gravel. Kedalaman 3,5 – 5 meter merupakan lanau lempungan, berwarna abu-abu kecoklatan, lunak sampai dengan sedang, plastisitas sedang. Pada kedalaman 5 – 10,5 meter merupakan pasir lanauan, berwarna coklat, kepadatan sedang, berbutir halus sampai sedang. Terikat lemah oleh lanau. Untuk kedalaman 10,5 – 14 meter merupakan campuran gravel, pasir kasar sampai dengan sedang dan lanau berwarna abu-abu, terikat lemah. Kedalaman 14 – 70 meter merupakan batupasir lanauan, berwarna abu-abu tua, butir halus, tersemen lemah oleh lanau, berlapis lapis ada serpihan kerang arang serta tufa warna putih.

Nilai permeabilitas (k) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 7 m, $k = 4,04 \times 10^{-4}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 7 – 12 m, $k = 3,21 \times 10^{-4}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 12 – 17 m, $k = 1,80 \times 10^{-4}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 17 – 22 m, $k = 1,89 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 22 – 27 m, $k = 5,33 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 27 – 32 m, $k = 5,80 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 32 – 37 m, $k = 8,54 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 37 – 42 m, $k = 9,03 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 42 – 47 m, $k = 5,88 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 47 – 52 m, $k = 8,98 \times 10^{-6}$ cm/det

- ▲ Kedalaman 52 – 57 m, $k = 5,56 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 57 – 62 m, $k = 7,04 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 62 – 67 m, $k = 7,55 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 67 – 70 m, $k = 1,26 \times 10^{-5}$ cm/det

Nilai RQD (Rock Quality Designation) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 14 m, RQD = 0 %
- ▲ Kedalaman 14 – 70 m, RQD = 100%

Nilai Lugeon (Lu) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 7 m, Lu = 31,24
- ▲ Kedalaman 7 – 12 m, Lu = 24,79
- ▲ Kedalaman 12 – 17 m, Lu = 13,90
- ▲ Kedalaman 17 – 22 m, Lu = 0,15
- ▲ Kedalaman 22 – 27 m, Lu = 0,41
- ▲ Kedalaman 27 – 32 m, Lu = 0,45
- ▲ Kedalaman 32 – 37 m, Lu = 0,66
- ▲ Kedalaman 37 – 42 m, Lu = 0,70
- ▲ Kedalaman 42 – 47 m, Lu = 0,45
- ▲ Kedalaman 47 – 52 m, Lu = 0,69
- ▲ Kedalaman 52 – 57 m, Lu = 0,43
- ▲ Kedalaman 57 – 62 m, Lu = 0,54
- ▲ Kedalaman 62 – 67 m, Lu = 0,58
- ▲ Kedalaman 67 – 70 m, Lu = 1,09

Nilai SPT (*Standart Penetration Test*) berdsarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 5 m, jenis batuan aluvial, nilai SPT N = 18
- ▲ Kedalaman 10 m, jenis batuan aluvial, nilai SPT N = 35
- ▲ Kedalaman 15 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50
- ▲ Kedalaman 20 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50
- ▲ Kedalaman 25 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50
- ▲ Kedalaman 30 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50
- ▲ Kedalaman 35 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50
- ▲ Kedalaman 40 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50
- ▲ Kedalaman 45 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50
- ▲ Kedalaman 50 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50
- ▲ Kedalaman 55 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT N > 50

- ▲ Kedalaman 60 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT $N > 50$
- ▲ Kedalaman 65 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT $N > 50$
- ▲ Kedalaman 70 m, jenis batuan batupasir lanauan, nilai SPT $N > 50$

Berdasarkan hasil uji SPT tersebut maka diketahui bahwa batuan aluvial bersifat kepadatan sedang mempunyai kuat geser relatif sedang, batupasir lanauan bersifat kompak dan mempunyai kekuatan geser relatif tinggi.

C. Kondisi Geologi pada Hilir Bendungan (*Downstream Dam*)

Pada lokasi poros bendungan dilakukan pemboran sebanyak 1 titik, yaitu : titik BSD-6 pada koordinat $X = 788191,55$; $Y = 592229,14$. Berdasarkan hasil log pemboran inti PT Wahana Adya hasilnya sebagai berikut :

➤ Titik BSD-6

Kedalaman lubang bor ini 25 meter, pada elevasi muka tanah +44,00. Dari deskripsi symbol litologi pada kedalaman 0 – 4,70 meter merupakan campuran (gravel/kerakal, kerikil, pasir kasar sampai dengan halus, lanau) berwarna abu-abu. Pada kedalaman 4,70 – 25 meter merupakan batulanau lempungan, berwarna abu-abu, butir halus sampai dengan sangat halus, padat sampai dengan sedang, tersemen lemah sampai dengan sedang, ada sisa-sisa organik/arang/karbon dan cangkang kerang di kedalaman 12,75 meter dan 12,20 meter. Ada pengaruh besi di batu lanau sangat keras di kedalaman 11,50 sampai dengan 13,00 dan 20,60 sampai dengan 21,05 meter.

Nilai permeabilitas (k) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 7 m, $k = 23,21 \times 10^{-4}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 7 – 12 m, $k = 1,53 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 12 – 17 m, $k = 2,95 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 17 – 22 m, $k = 1,43 \times 10^{-6}$ cm/det
- ▲ Kedalaman 22 – 25 m, $k = 1,66 \times 10^{-6}$ cm/det

Nilai RQD (Rock Quality Designation) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 4 m, RQD = 0 %
- ▲ Kedalaman 4 – 5 m, RQD = 80%
- ▲ Kedalaman 5 – 25 m, RQD = 100%

Nilai Lugeon (Lu) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 7 m, Lu = 23,21
- ▲ Kedalaman 7 – 12 m, Lu = 0,12

- ▲ Kedalaman 12 – 17 m, Lu = 0,23
- ▲ Kedalaman 17 – 22 m, Lu = 0,14
- ▲ Kedalaman 22 – 25 m, Lu = 1,44

4.1.2 Perbaikan Pondasi Bendungan Seulimeum

Dari hasil investigasi geologi pada pondasi Bendungan Seulimeum dapat dilihat bahwa kondisi geologi pada poros bendungan (as dam) pada titik BSD-3 dan BSD-4 diketahui permeabilitas batuan pondasi sebagai berikut :

- ◆ Dari hasil bor log, kedalaman 0,00 – 17,00 m merupakan batuan Aluvial mempunyai nilai Lu = 31,24 – 13,90 atau nilai $k > 1 \times 10^{-4}$ sampai dengan 1×10^{-3} cm/det memiliki sifat batuan agak lulus sampai sangat lulus air.
- ◆ Batuan batu pasir lanauan-tufaan mempunyai nilai Lu < 1 memiliki sifat kedap air.

Dari investigasi geologi dapat diketahui bahwa terdapat potensi bocoran melalui batuan Aluvial Sungai Seulimum yang dapat membahayakan konstruksi tubuh bendungan. Oleh karena itu, untuk mencegah bahaya tersebut maka lapisan atas (*top soil*) harus dikupas. Kemudian, batuan mempunyai Lu > 3 harus diperbaiki dengan injeksi sementasi tirai bertekanan (*curtain grouting*) agar terbentuk sekat/tirai kedap air guna memperpanjang garis aliran rembesan.

A. Metode pelaksanaan sementasi (*grouting*) di lapangan

Metode pelaksanaan sementasi (Soedibyo, 2003:310), ada beberapa kegiatan yang perlu dilaksanakan, yaitu : pengeboran, pembersihan lubang, dan injeksi semen.

1. Pengeboran lubang

Dilaksanakan dengan mesin pengeboran putaran (*rotary*), untuk mesin pengeboran putaran sebagian dapat diambil contoh batuan (*core log*) dan ditempatkan di dalam kotak (*core box*) yang sewaktu-waktu mudah diperiksa apabila di dalam pelaksanaan sementasi terdapat hal-hal yang di luar dugaan semula.

Diameter lubang bor yang dipakai antara 46 mm sampai dengan 66 mm, sedangkan untuk contoh batuan diambil minimal 52 mm. Untuk batuan bagian atas (yang lunak) diperkuat dengan pipa pelindung (*casing*). Apabila ada permukaan air tanah harus dicatat.

2. Pembersihan lubang (*washing*)

Sesudah pengeboran selesai, lalu lubang dibersihkan dengan cara menyemprotkan air dengan tekanan selama beberapa menit sampai air yang keluar

dari lubang dalam keadaan bersih. Apabila akan dilakukan pengujian air maka dapat dilaksanakan sesuai standar, apabila tidak dilakukan maka dapat langsung diadakan injeksi semen.

3. Pengujian air dan pengujian sementasi

Sebelum pelaksanaan sementasi dimulai harus diadakan pengujian air dan pengujian sementasi untuk memperkirakan campuran dan tekanan yang sesuai. Biarpun sudah banyak rumus, akan tetapi pengujian ini sangat perlu karena penelitian dan penyelidikan geologi tidak mungkin dilaksanakan dengan sempurna. Jadi peran rumus hanya sebagai perkiraan saja.

- Pengujian air (*water testing, permeability testing*)

Digunakan untuk menentukan angka Lugeon dari lubang yang akan disementasi agar dapat diperkirakan campuran yang lebih tepat di dalam pelaksanaan sementasi.

- Pengujian sementasi (*grouting test*)

Digunakan untuk memperkirakan tekanan dan campuran yang akan digunakan serta memeriksa efektif tidaknya perbaikan pondasi dengan sementasi.

- Pemeriksaan sesudah pengujian

Sebelum dilaksanakan pengujian sementasi, telah dihitung angka Lugeonnya dengan pengujian air (*water testing, permeability testing*). Sesudah pengujian sementasi selesai lalu dibuat lubang pemeriksaan di dekatnya dengan pengeboran, pembersihan lubang, dan dilaksanakan pengujian air untuk menghitung angka Lugeonnya. Apabila turunnya nilai Lugeon sesudah pengujian dibandingkan dengan sebelumnya cukup besar maka sementasi disebut efektif. Sebaliknya apabila penurunannya hanya kecil maka disebut kurang efektif.

4. Injeksi semen

Berdasarkan hasil pengujian air dan pengujian sementasi dapat diperkirakan tekanan serta campuran yang akan dipakai. Pada permulaan sementasi digunakan campuran yang encer. Apabila selama 10 menit volume campuran yang masuk lebih dari 400 liter atau tekanan terbesar tidak dapat dicapai maka campuran harus diganti dengan yang lebih pekat. Sebaliknya, apabila selama 10 menit ini volume campuran yang masuk kurang dari 400 liter maka campuran dapat diteruskan sampai selesai.

Apabila campuran yang masuk sudah banyak tetapi tekanannya masih tinggi, maka injeksi semen dihentikan sementara untuk memberi kesempatan mengeras dan

menutup lubang-lubang yang ada, setelah ditunggu beberapa menit barulah dapat dilanjutkan lagi.

4.1.3 Perbaikan Pondasi dengan Sementasi Tirai (*Curtain Grouting*)

Hasil evaluasi investigasi geologi diatas, maka perlu dilakukan perbaikan pondasi dan ebatmen menggunakan sementasi tirai. Injeksi tirai dilakukan dengan membuat lubang bor di bawah zona kedap air dari bendungan, kemudian dari lubang tersebut diinjeksikan sejumlah campuran bahan injeksi dengan tekanan tertentu. Injeksi tirai dilakukan sebanyak 3 (tiga) baris pada pondasi batuan, 3 (tiga) baris tersebut merupakan batas minimal jumlah injeksi sesuai dengan pedoman tata cara desain tubuh bendungan urugan. Sementasi tirai berfungsi untuk membuat sekat kedap air yang dapat menahan rembesan yang besar dengan memperpanjang filtrasi sehingga mengurangi *uplift* yang disebabkan oleh tekanan air tanah yang terdapat dalam lapisan pondasi dan kemungkinan *piping*. Selain itu meningkatkan daya dukung batuan yang membentuk lapisan pondasi calon bendungan.

Untuk menentukan dalamnya lubang bor sementasi digunakan rumus yang dianjurkan oleh USBR sebagai berikut :

$$d = 0,33 H + C$$

$$= 0,33 \cdot 30 + 12 = 21,90 \text{ m} \approx 22,00 \text{ m} \quad (\text{sebanyak 3 baris})$$

dimana :

d = kedalaman lubang yang terdalam (m)

H = tinggi bendungan 30,00 m

C = 12,00 m (d disesuaikan dengan keadaan kondisi batuan)

A. Plat beton sementasi (*concrete slab grouting, core trench grouting*)

Karena kondisi pondasi bendungan batuannya kurang kuat, maka perlu dibangun bangunan pembantu untuk sementasi dengan menggunakan plat beton. Bangunan tersebut digunakan untuk menahan alat sementasi agar tidak terangkat ke atas pada waktu tekanannya besar, dan menahan campuran sementasi agar tidak keluar ke permukaan tanah.

Untuk tebal plat direncanakan 0,50 m, dengan tulangan atas dan bawah 19,00 mm dengan jarak 30 cm. Beton yang digunakan K250 dengan nilai slump 7,50 cm. Kemudian di tempat-tempat lubang sementasi, disediakan pipa PVC sesuai diameter lubang agar tidak perlu membuat lubang pada beton yang sudah dicor. Sebelum pengecoran beton, bagian bawah yang berbatasan dengan pondasi harus dibersihkan dahulu dengan mesin kompresor.

4.1.4 Perbaikan Pondasi dengan Sementasi Konsolidasi (*Consolidation Grouting*)

Mengingat bahwa lokasi Bendungan Seulimeum terletak didaerah bergempa kuat dan terdapat daerah sesar, maka perbaikan pondasi yang dilewati sesar sangat dibutuhkan studi yang seksama. Berdasarkan pedoman, pada daerah sesar disarankan dengan melakukan injeksi konsolidasi, tujuannya untuk memperkuat lapisan teratas dari pondasi serta menutup dan merekatkan kembali kembali rekaha-rekahan pada batuan, sehingga lapisan tersebut menjadi masif kembali.

Untuk kedalaman lubang bor sementasi dipilih sedalam 6,00 m, dengan jarak antar lubang 1,50 m dan 2,40 m.

4.2 Tegangan pada Pondasi Bendungan Seulimeum

Untuk mengetahui kemampuan pondasi Bendungan Seulimeum memikul tubuh bendungan, menggunakan analisa tegangan vertikal pada pondasi bendungan tepat pada as bendungan utama (*main dam*). Asumsi yang digunakan dalam menganalisa tegangan vertikal tersebut antara lain :

- Untuk menghitung beban akibat timbunan tubuh bendungan (q) digunakan berat material timbunan (γ) yang terbesar.
- Perhitungan tegangan vertikal yang terjadi dibawah pondasi bendungan diasumsi pada kedalaman $z = 20$ meter.

Jadi, penyelesaian dari perhitungan tegangan vertikal adalah sebagai berikut :

- ◆ Beban timbunan (q)

$$q = h \cdot \gamma$$

dimana,

$$q = \text{beban terbagi rata akibat timbunan (kN/m}^2\text{)}$$

$$\gamma = \text{berat volume timbunan (kN/m}^3\text{)}$$

$$h = \text{tinggi timbunan main dam} = 30 \text{ m}$$

sehingga dapat dihitung :

$$q = h \cdot \gamma$$

$$= 30 \cdot 17,210$$

$$= 516,300 \text{ kN/m}^2$$

- ◆ Tegangan vertikal pada pondasi *as main dam* dititik A pada kedalaman $z = 2,50$ m

$$\sigma_z = q (l_1 + l_2)$$

dimana,

σ_z = tegangan vertikal yang terjadi pada kedalaman z (kN/m²)

q = beban terbagi rata akibat timbunan (kN/m²)

l_1 = Nilai faktor pengaruh bagian kiri

l_2 = Nilai faktor pengaruh bagian kanan

sehingga dapat dihitung :

$$l_n = \frac{1}{\pi} \left(\left\{ \frac{a+b}{a} \right\} (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a} \alpha_2 \right)$$

- Pengaruh bagian kiri

$$\alpha_1 = 15^\circ = 15 \times \frac{2 \cdot 3,14}{360} = 0,261$$

$$\alpha_2 = 72^\circ = 72 \times \frac{2 \cdot 3,14}{360} = 1,256$$

$z = 2,5$ m

$a = 94,00$ m (bagian kiri)

$b = 7,00$ m (bagian kiri)

$$l_1 = \frac{1}{3,14} \left(\left\{ \frac{94,00 + 7,00}{94,00} \right\} (0,261 + 1,256) - \frac{7}{94} \cdot 1,256 \right)$$

$l_1 = 0,489$

- Pengaruh bagian kanan

$$\alpha_1 = 18^\circ = 18 \times \frac{2 \cdot 3,14}{360} = 0,314$$

$$\alpha_2 = 69^\circ = 69 \times \frac{2 \cdot 3,14}{360} = 1,203$$

$z = 2,5$ m

$a = 75,00$ m (bagian kanan)

$b = 7,00$ m (bagian kanan)

$$l_2 = \frac{1}{3,14} \left(\left\{ \frac{75,00 + 7,00}{75,00} \right\} (0,314 + 1,203) - \frac{7}{75} \cdot 1,203 \right)$$

$l_2 = 0,492$

- Jadi, tegangan vertikal yang terjadi pada pondasi *as main dam* pada kedalaman 2,50 m adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma_z &= q (l_1 + l_2) \\ &= 516,300 (0,489 + 0,492) \\ &= 506,490 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

♦ Tegangan vertikal pada pondasi *as main dam* dititik A pada kedalaman $z = 20$ m

$$\sigma_z = q (l_1 + l_2)$$

dimana,

σ_z = tegangan vertikal yang terjadi pada kedalaman z (kN/m^2)

q = beban terbagi rata akibat timbunan (kN/m^2)

l_1 = Nilai faktor pengaruh bagian kiri

l_2 = Nilai faktor pengaruh bagian kanan

sehingga dapat dihitung :

- Pengaruh bagian kiri

$$z = 20 \text{ m}$$

$$a = 94,00 \text{ m (bagian kiri)}$$

$$b = 7,00 \text{ m (bagian kiri)}$$

$$\frac{a}{z} = \frac{94,00}{20} = 4,700$$

$$\frac{b}{z} = \frac{7,00}{20} = 0,35$$

Dari Gambar 4.1, untuk setengah tampang timbunan diperoleh $l_1 = 0,462$

- Pengaruh bagian kanan

$$z = 20 \text{ m}$$

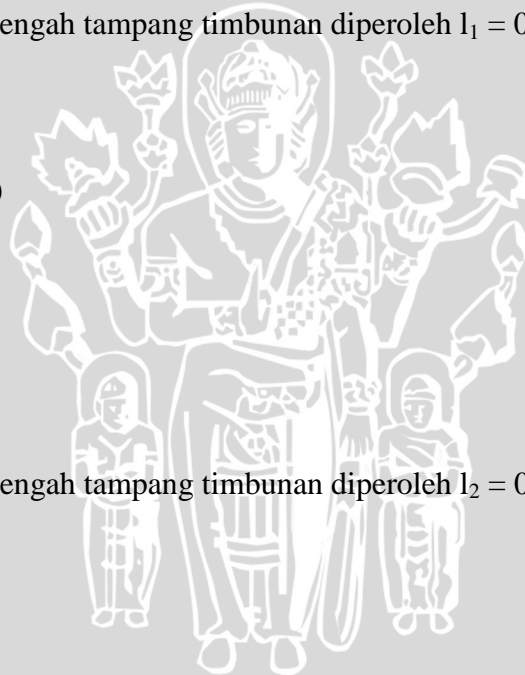
$$a = 75,00 \text{ m (bagian kanan)}$$

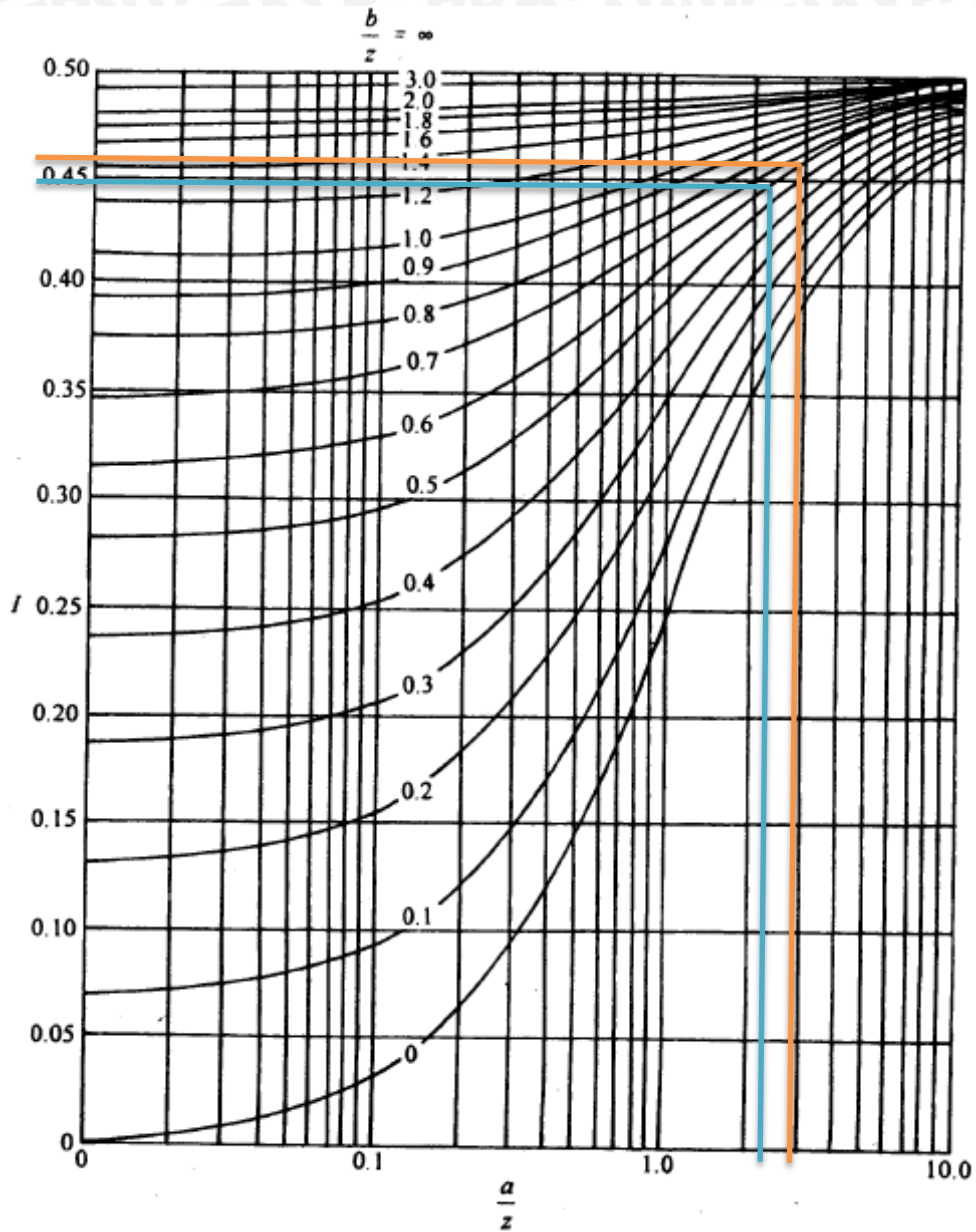
$$b = 7,00 \text{ m (bagian kanan)}$$

$$\frac{a}{z} = \frac{75,00}{20} = 3,75$$

$$\frac{b}{z} = \frac{7,00}{20} = 0,35$$

Dari Gambar 4.1, untuk setengah tampang timbunan diperoleh $l_2 = 0,448$





Gambar 4.1. Faktor pengaruh akibat beban timbunan (Osterberg, 1957)

- Jadi, tegangan vertikal yang terjadi pada pondasi *as main dam* pada kedalaman 20 m adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \sigma_z &= q (I_1 + I_2) \\
 &= 516,300 (0,462 + 0,448) \\
 &= 469,833 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Tegangan vertikal di setiap kedalaman

Titik Kedalaman (m)	Tegangan Vertikal (kN/m ²)
2,500	506,490
5,000	501,843
7,500	498,281
10,000	493,066
12,500	483,257
15,000	475,512
17,500	472,509
20,000	469,833

Sumber : Hasil perhitungan

4.3 Perhitungan Garis Depresi dan Kapasitas Rembesan

4.3.1 Perhitungan Garis Depresi Kondisi NWL (*Normal Water Level*)

Elevasi puncak bendungan = + 73,00 m

Elevasi muka air normal = + 67,00 m

Elevasi puncak inti bendungan = + 72,00 m

Elevasi dasar bendungan = + 43,00 m

Lebar dasar inti = 21,90 m

❖ Untuk zona kedap air

$$h = 67,00 - 43,00 = 24,00 \text{ m}$$

$$l_1 = 7,70 \text{ m}$$

$$l_2 = 14,20 \text{ m}$$

$$d = 0,3 l_1 + l_2$$

$$= 0,3 \cdot 7,70 + 14,20$$

$$= 16,51 \text{ m}$$

Maka didapatkan :

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

$$= \sqrt{24^2 + 16,51^2} - 16,51$$

$$= 12,62 \text{ m}$$

Parabola bentuk dasar didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$y = \sqrt{2y_0 x + y_0^2}$$

$$y = \sqrt{2.12,62x + 12,62^2}$$

$$y = \sqrt{25,24x + 159,264}$$

Dari persamaan tersebut diatas didapatkan koordinat parabola sebagai berikut :

Tabel 4.2 Koordinat parabola pada zona kedap air kondisi NWL

x	y
-6,310	0,000
0,000	12,620
5,000	16,890
10,000	20,290

Sumber : Hasil perhitungan

Bentuk dari parabola yang didapat melalui perhitungan di atas bukanlah garis depresi yang sesungguhnya. Masih diperlukan penyesuaian, sehingga menjadi bentuk garis depresi yang sesungguhnya. Penyesuaian titik-titik perpotongan dari parabola dasar ke garis aliran sesungguhnya menurut Casagrande adalah sebagai berikut :

$$\alpha = 116^\circ$$

$$\alpha + \Delta\alpha = \frac{y_0}{1 - \cos\alpha}$$

$$\alpha + \Delta\alpha = \frac{12,62}{1 - \cos 116}$$

$$\alpha + \Delta\alpha = \frac{12,62}{1 - (-0,438)}$$

$$\alpha + \Delta\alpha = 8,776 \text{ m}$$

Dengan $\alpha = 116^\circ$ dari grafik Casagrande didapatkan nilai $C = 0,18$

$$\Delta\alpha = 0,18 \cdot 8,776$$

$$= 1,579$$

$$\alpha = 8,776 - 1,579$$

$$= 7,197$$

❖ Untuk zona lulus air

- k_1 (koefisien permeabilitas inti kedap air) = $5,610 \times 10^{-10}$ m/det, nilai tersebut merupakan koefisien permeabilitas rata-rata dari hasil sample yang ada pada *borrow area*.
- k_2 (koefisien permeabilitas zona lulus air) = $8,000 \times 10^{-4}$ m/det.
- Dengan anggapan debit aliran filtrasi konstan, maka :

$$Q = k_1 \cdot y_0 \cdot L = k_2 \cdot h_2 \cdot L, \text{ dan dengan demikian harga } h_2 = (k_1/k_2)y_0 =$$

$$(5,610 \times 10^{-10} / 8,000 \times 10^{-4}) \cdot 12,62 = 8,849 \times 10^{-6} \text{ m.}$$

- Maka diperoleh koordinat parabola bentuk dasar sebagai berikut :

$$y = \sqrt{2h_2x + h_2^2}$$

$$= \sqrt{1,769 \times 10^{-5}x + 7,830 \times 10^{-11}}$$

Tabel 4.3 Koordinat parabola pada zona lulus air kondisi NWL

x	y
$-4,426 \times 10^{-6}$	0,000
0,000	$8,849 \times 10^{-6}$
10,000	0,013
20,000	0,019
30,000	0,023
40,000	0,027
50,000	0,029
60,000	0,033
70,550	0,035

Sumber : Hasil perhitungan

4.3.2 Perhitungan Garis Depresi Kondisi FWL (*Flood Water Level*)

Elevasi puncak bendungan = + 73,00 m

Elevasi muka air banjir = + 70,00 m

Elevasi puncak inti bendungan = + 72,00 m

Elevasi dasar bendungan = + 43,00 m

Lebar dasar inti = 21,90 m

❖ Untuk zona kedap air

$$h = 70,00 - 43,00 = 27,00 \text{ m}$$

$$l_1 = 8,75 \text{ m}$$

$$l_2 = 13,15 \text{ m}$$

$$d = 0,3 l_1 + l_2$$

$$= 0,3 \cdot 8,75 + 13,15$$

$$= 15,775 \text{ m}$$

Maka didapatkan :

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

$$= \sqrt{27^2 + 15,775^2} - 15,775$$

$$= 15,496 \text{ m}$$

Parabola bentuk dasar didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2}$$

$$= \sqrt{2.15,496x + 15,496^2}$$

$$y = \sqrt{30,992x + 240,126}$$

Dari persamaan tersebut diatas didapatkan koordinat parabola sebagai berikut :

Tabel 4.4 Koordinat parabola pada zona kedap air kondisi FWL

x	y
-7,750	0,000
0,000	15,490
5,000	19,880
10,000	23,450

Sumber : Hasil perhitungan

Bentuk dari parabola yang didapat melalui perhitungan di atas bukanlah garis depresi yang sesungguhnya. Masih diperlukan penyesuaian, sehingga menjadi bentuk garis depresi yang sesungguhnya. Penyesuaian titik-titik perpotongan dari parabola dasar ke garis aliran sesungguhnya menurut Casagrande adalah sebagai berikut :

$$\alpha = 116^\circ$$

$$\alpha + \Delta\alpha = \frac{y_0}{1 - \cos\alpha}$$

$$\alpha + \Delta\alpha = \frac{15,496}{1 - \cos 116}$$

$$\alpha + \Delta\alpha = \frac{15,496}{1 - (-0,438)}$$

$$\alpha + \Delta\alpha = 10,776 \text{ m}$$

Dengan $\alpha = 116^\circ$ dari grafik Casagrande didapatkan nilai $C = 0,18$

$$\Delta\alpha = 0,18 \cdot 10,776$$

$$= 1,939$$

$$\alpha = 10,776 - 1,939$$

$$= 8,837$$

❖ Untuk zona lulus air

- k_1 (koefisien permeabilitas inti kedap air) = $5,610 \times 10^{-10}$ m/det, nilai tersebut merupakan koefisien permeabilitas rata-rata dari hasil sample yang ada pada *borrow area*.
- k_2 (koefisien permeabilitas zona lulus air) = $8,000 \times 10^{-4}$ m/det

- Dengan anggapan debit aliran filtrasi konstan, maka :

$$Q = k_1 \cdot y_0 \cdot L = k_2 \cdot h_2 \cdot L, \text{ dan dengan demikian harga } h_2 = (k_1/k_2)y_0 = (5,610 \times 10^{-10} / 8,000 \times 10^{-4}) \cdot 15,496 = 1,086 \times 10^{-5} \text{ m.}$$

- Maka diperoleh koordinat parabola bentuk dasar sebagai berikut :

$$y = \sqrt{2h_2x + h_2^2}$$

$$= \sqrt{2,173 \times 10^{-5}x + 1,179 \times 10^{-10}}$$

Tabel 4.5 Koordinat parabola pada zona lulus air kondisi FWL

x	y
$-5,426 \times 10^{-6}$	0,000
0,000	$1,085 \times 10^{-5}$
10,000	0,015
20,000	0,021
30,000	0,026
40,000	0,029
50,000	0,033
60,000	0,036
70,550	0,039

Sumber : Hasil perhitungan

4.3.3 Perhitungan Garis Depresi Kondisi LWL (*Low Water Level*)

Elevasi puncak bendungan = + 73,00 m

Elevasi muka air minimum = + 61,00 m

Elevasi puncak inti bendungan = + 72,00 m

Elevasi dasar bendungan = + 43,00 m

Lebar dasar inti = 21,90 m

- ❖ Untuk zona kedap air

$$h = 61,00 - 43,00 = 18,00 \text{ m}$$

$$l_1 = 5,60 \text{ m}$$

$$l_2 = 16,30 \text{ m}$$

$$d = 0,3 l_1 + l_2$$

$$= 0,3 \cdot 5,60 + 16,30$$

$$= 17,980 \text{ m}$$

Maka didapatkan :

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{18^2 + 17,980^2} - 17,980 \\
 &= 7,462 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Parabola bentuk dasar didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 y &= \sqrt{2y_0x + y_0^2} \\
 &= \sqrt{2 \cdot 7,462x + 7,462^2} \\
 y &= \sqrt{14,924x + 55,681}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut diatas didapatkan koordinat parabola sebagai berikut :

Tabel 4.6 Koordinat parabola pada zona kedap air kondisi LWL

x	y
3,730	0,000
0,000	7,460
5,000	11,420
10,000	14,320

Sumber : Hasil perhitungan

Bentuk dari parabola yang didapat melalui perhitungan di atas bukanlah garis depresi yang sesungguhnya. Masih diperlukan penyesuaian, sehingga menjadi bentuk garis depresi yang sesungguhnya. Penyesuaian titik-titik perpotongan dari parabola dasar ke garis aliran sesungguhnya menurut Casagrande adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 116^\circ \\
 \alpha + \Delta\alpha &= \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \\
 \alpha + \Delta\alpha &= \frac{7,462}{1 - \cos 116} \\
 \alpha + \Delta\alpha &= \frac{7,462}{1 - (-0,438)}
 \end{aligned}$$

$$\alpha + \Delta\alpha = 5,189 \text{ m}$$

Dengan $\alpha = 116^\circ$ dari grafik Casagrande didapatkan nilai $C = 0,18$

$$\begin{aligned}
 \Delta\alpha &= 0,18 \cdot 5,189 \\
 &= 0,934
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 5,189 - 0,934 \\
 &= 4,255
 \end{aligned}$$

❖ Untuk zone lulus air

- k_1 (koefisien permeabilitas inti kedap air) = $5,610 \times 10^{-10}$ m/det, karena koefisien permeabilitas tersebut merupakan rata-rata dari hasil sample yang ada pada *borrow area*.
- k_2 (koefisien permeabilitas zona lulus air) = $8,000 \times 10^{-4}$ m/det
- Dengan anggapan debit aliran filtrasi konstan, maka :
 $Q = k_1 \cdot y_0 \cdot L = k_2 \cdot h_2 \cdot L$, dan dengan demikian harga $h_2 = (k_1/k_2)y_0 = (5,610 \times 10^{-10}/8,000 \times 10^{-4}) \cdot 7,462 = 5,233 \times 10^{-6}$ m.
- Maka diperoleh koordinat parabola bentuk dasar sebagai berikut :

$$y = \sqrt{2h_2x + h_2^2}$$

$$= \sqrt{1,046 \times 10^{-5}x + 2,738 \times 10^{-11}}$$

Tabel 4.7 Koordinat parabola pada zona lulus air kondisi LWL

x	y
$-2,617 \times 10^{-6}$	0,000
0,000	$5,232 \times 10^{-6}$
10,000	0,010
20,000	0,014
30,000	0,018
40,000	0,020
50,000	0,023
60,000	0,025
70,550	0,027

Sumber : Hasil perhitungan

4.3.4 Rembesan pada Bendungan

❖ Rembesan pada Tubuh Bendungan

Untuk menghitung rembesan pada tubuh bendungan digunakan pada kondisi muka air waduk normal (*Normal Water Level*) dengan menggunakan flow net pada aliran filtrasi. Jadi rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan :

Dimana :

Q_f = kapasitas rembesan (m^3/dt)

N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi (8)

N_p = angka pembagi dari garis equipotensial (11)

k = koefisien filtrasi ($5,610 \times 10^{-10}$ m/det)

h = tinggi air (22 m)

L = panjang profil melintang tubuh bendungan (305,44 m)

Maka, dihitung :

$$\begin{aligned} Q_f &= \frac{N_f}{N_p} \cdot k \cdot h \cdot L \\ &= \frac{8}{11} \cdot 5,610 \times 10^{-10} \cdot 22 \cdot 305,44 \\ &= 2,742 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Jadi kapasitas rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan adalah sebesar $2,742 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}$

❖ Rembesan pada Pondasi Bendungan

- Kondisi permeabilitas tanah pada lubang bor BSD-2

Nilai permeabilitas (k) berdasarkan kedalaman :

- ▲ Kedalaman 0 – 7 m, $k = 1,99 \times 10^{-4} \text{ cm/det}$
- ▲ Kedalaman 7 – 12 m, $k = 8,48 \times 10^{-6} \text{ cm/det}$
- ▲ Kedalaman 12 – 17 m, $k = 6,67 \times 10^{-6} \text{ cm/det}$
- ▲ Kedalaman 17 – 22 m, $k = 6,38 \times 10^{-6} \text{ cm/det}$
- ▲ Kedalaman 22 – 25 m, $k = 1,30 \times 10^{-5} \text{ cm/det}$

Untuk mengetahui nilai k_x dan k_z menurut Craig dapat dihitung dengan persamaan :

$$k_x = \frac{H_1 k_1 + H_2 k_2 + H_3 k_3 + H_4 k_4 + H_5 k_5}{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5}$$

$$k_x = \frac{7 \times 1,99 \times 10^{-4} + 5 \times 8,48 \times 10^{-6} + 5 \times 6,67 \times 10^{-6} + 5 \times 6,38 \times 10^{-6} + 5 \times 1,30 \times 10^{-5}}{7 + 5 + 5 + 5 + 5}$$

$$k_x = \frac{1,565 \times 10^{-3}}{27}$$

$$k_x = 5,796 \times 10^{-5} \text{ cm/det} = 5,796 \times 10^{-7} \text{ m/det}$$

$$k_z = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5}{\left(\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2} + \frac{H_3}{k_3} + \frac{H_4}{k_4} + \frac{H_5}{k_5}\right)}$$

$$k_z = \frac{7 + 5 + 5 + 5 + 5}{\left(\frac{7}{1,99 \times 10^{-4}} + \frac{5}{8,48 \times 10^{-6}} + \frac{5}{6,67 \times 10^{-6}} + \frac{5}{6,38 \times 10^{-6}} + \frac{5}{1,30 \times 10^{-5}}\right)}$$

$$k_z = \frac{27}{(2542738,152)}$$

$$k_z = 1,062 \times 10^{-5} \text{ cm/det} = 1,062 \times 10^{-7} \text{ m/det}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa k_x lebih besar daripada k_z , sehingga dapat disimpulkan bahwa rembesan lebih mudah terjadi ke arah vertikal (searah sumbu x) daripada tegak lurus lapisan (searah sumbu z).

$$k' = \sqrt{k_x \cdot k_z}$$

$$k' = \sqrt{5,796 \times 10^{-7} \cdot 1,062 \times 10^{-7}}$$

$$k' = 2,481 \times 10^{-7}$$

Kapasitas rembesan pada pondasi bendungan :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot k' \cdot h \cdot L$$

Dimana :

$$Q_f = \text{kapasitas rembesan (m}^3/\text{dt)}$$

N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi

N_p = angka pembagi dari garis equipotensial

k' = koefisien filtrasi

h = tinggi air

L = panjang profil melintang tubuh bendungan

Maka, dihitung :

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot k' \cdot h \cdot L$$

$$= \frac{10,5}{30} \cdot 2,481 \times 10^{-7} \cdot 22 \cdot 305,44$$

$$= 5,835 \times 10^{-4}$$

Jadi kapasitas rembesan yang terjadi pada pondasi bendungan adalah sebesar $5,835 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt}$

- ◆ Debit rembesan total yang terjadi pada bendungan adalah $2,742 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt} + 5,835 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt} = 5,862 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dt} = 0,0005862 \text{ m}^3/\text{dt}$
- ◆ Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa debit rembesan yang lewat melalui bendungan masih aman yaitu $0,0005862 \text{ m}^3/\text{dt} < 0,0415 \text{ m}^3/\text{dt}$ (1 % dari debit rata-rata Sungai Seulimeum).

4.4 Analisa Kemungkinan Gejala Buluh (*Piping*)

Gejala buluh (*piping*) merupakan erosi yang terjadi pada tubuh bendungan akibat rembesan melalui timbunan tanah, lapisan kedap air atau pondasi. Bila tekanan rembesan ke atas yang terjadi dalam tanah sama dengan i_{cr} , maka tanah akan pada kondisi

mengapung. Keadaan semacam ini juga berakibat terangkutnya butir-butir tanah, sehingga terjadi gejala buluh (*piping*). Akibatnya terjadi rongga-rongga di dalam tanah yang dapat mengakibatkan fondasi bendungan mengalami penurunan, sehingga mengganggu stabilitas tubuh bendungan. Jika $FS > 4$, maka tidak akan terjadi pengangkatan partikel butiran tanah, yang berarti bahwa peristiwa (*piping*) tidak terjadi. Pada perhitungan ini dipilih keadaan air di hulu berada pada kondisi normal (NWL).

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui faktor aman terhadap *piping* dengan menggunakan metode Harza sebagai berikut :

$$SF = \frac{i_c}{i_e}$$

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

$$i_e = \frac{\Delta h}{\ell}$$

$$\Delta h = \frac{h}{N_d}$$

Dimana :

SF = angka aman (4)

i_c = gradien hidrolis kritis

G_s = *Specific gravity*

e = angka pori

γ_w = berat volume air

i_e = gradien keluar maksimum (*maximum exit gradient*)

Δh = kehilangan tinggi energi antara dua garis ekipotensial terakhir

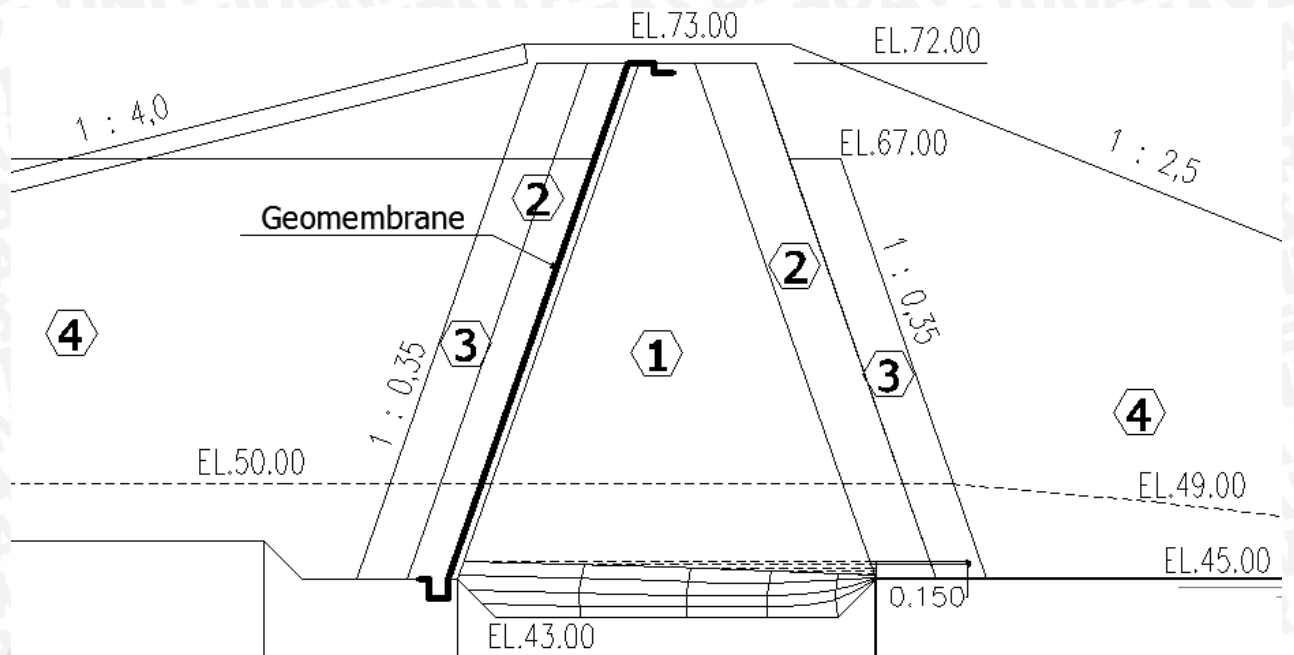
h = perbedaaan tinggi energi antara garis ekipotensial pertama dan terakhir (0,9 m)

N_d = angka pembagi dari garis equipotensial (6)

ℓ = panjang dari elemen aliran (2,001 m)

❖ Analisa bahaya *piping* pada tubuh bendungan, spesifikasi bahan zona inti dan bahan zona filter tubuh Bendungan Seulimeum adalah sebagai berikut :

- Angka pori (e) = 0,860
- Porositas (n) = 0,462
- *Specific gravity* (G_s) = 2,640



Gambar 4.2 Potongan melintang tubuh Bendungan Seulimeum dengan *geomembrane*

Sehingga, dapat dihitung dengan persamaan :

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{2,640 - 1}{1 + 0,860} = 0,882$$

$$\Delta h = \frac{h}{N_d}$$

$$\Delta h = \frac{0,90}{6} = 0,150$$

$$i_e = \frac{\Delta h}{l}$$

$$i_e = \frac{0,150}{2,001} = 0,075$$

$$SF = \frac{i_c}{i_e}$$

$$SF = \frac{0,882}{0,075}$$

$$SF = 11,760$$

SF lebih dari 4, kemungkinan tidak terjadi bahaya *piping* dengan pemasangan *geomembrane*.

Rekomendasi untuk tambahan perlindungan zona inti bendungan sebagai berikut :

- Pemasangan sistem perlindungan menggunakan *geomembrane* untuk menurunkan aliran filtrasi pada zona inti bendungan, karena *geomembrane* yang kedap air berfungsi sebagai *hydraulic barrier* dan memiliki sifat bahannya yang lentur/fleksibel namun kuat.

Usaha yang dilakukan untuk mencegah atau menghindarkan dari bahaya *piping* sebagai berikut :

Menurut (Soedibyo, 2003:66) adalah sebagai berikut :

- Bahan untuk tanah liat harus bersih, tidak boleh terdapat akar-akar, ranting-ranting, daun-daunan, puing-puing, dan sebagainya.
 - Mengupayakan agar pemadatan tanah atau lapisan kedap air dilakukan sebaik-baiknya, minimal kepadatan 95%, sehingga timbunan menjadi seragam dan pori-pori yang timbul menjadi sekecil-kecilnya.
 - Pada perbatasan antara lapisan kedap air dengan timbunan batu dibuatkan lapisan *filter* yang memenuhi beberapa syarat.
 - Apabila terpaksa diperkirakan timbul rembesan air harus disalurkan lewat saluran pengering, sumur pengering atau sumur pelepas tekan.
- ❖ Analisa bahaya *piping* pada pondasi bendungan, spesifikasi tanah pondasi dan bahan zona random tubuh Bendungan Seulimeum adalah sebagai berikut :
- Berat volume jenuh tanah pondasi (γ_{sat}) = 1,709 t/m³
 - Berat volume basah zona random (γ_n) = 2,000 t/m³
 - Tebal timbunan = 28,00 m

Sehingga, dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Delta h = \frac{h}{N_d}$$

$$\Delta h = \frac{22,00}{30} = 0,733$$

$$i_e = \frac{\Delta h}{\ell}$$

$$i_e = \frac{0,733}{1,610} = 0,455$$

Faktor aman didefinisikan sebagai gaya ke bawah efektif dibagi dengan gaya keatas efektif.

- ❖ Gaya ke bawah efektif persatuan luas (arah ke bawah)

Misal analisa *piping* ditinjau dititik A, jadi $z = 0,810$ m

$$\begin{aligned}\sigma_A' &= 0,810 (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + (28,00 \times \gamma_n) \\ &= 0,810 (17,09 - 9,81) + (28,00 \times 20,00) = 5,897 + 560,000 = 565,897 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{❖ Gaya ke atas efektif persatuan luas (arah ke atas)} &= i_{e,z} \cdot \gamma_w = 0,455 \times 0,810 \times 9,81 \\ &= 3,615 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Faktor aman} = \frac{\text{Gaya ke bawah efektif}}{\text{Gaya ke atas efektif}} = \frac{565,897}{3,615} = 156,541$$

SF lebih dari 4, maka pondasi aman terhadap bahaya *piping*.

4.5 Pemilihan Bahan dan Metode Pemadatan Timbunan Tubuh Bendungan

Desain bendungan seulimeum merupakan tipe urugan zonal inti tegak ditengah, desain tersebut dipilih karena mengacu pada ketersediaan bahan timbunan yang berada di sekitar lokasi calon bendungan. Dari hasil scurvey dan investigasi diketahui bahwa material yang paling banyak tersedia di daerah sekitar lokasi calon bendungan adalah kerikil, krakal, dan pasir berada di sepanjang sungai seulimeum. Sehingga untuk mengatasi rembesan yang melalui tubuh bendungan diperlukan inti kedap air (*core*).

1. Timbunan zona inti (*core*)

Timbunan zona inti merupakan timbunan terpenting pada tubuh bendungan, karena sebagai penahan rembesan yang melalui tubuh bendungan. Untuk merencanakan desain, lebar inti kedap air sangat mempengaruhi kesetabilan lereng dan biasanya dipilih sesuai dengan perbandingan antara harga dan bahan yang tersedia dilapangan. Pada umumnya lebar inti di dasar pondasi dapat diambil sama atau lebih besar dari seperempat perbedaan tinggi (beda tinggi muka air maksimum waduk dengan tinggi muka air hilir bendungan) atau pada umumnya tebal rata-rata 30% - 50% tinggi air maksimum waduk. Sedangkan lebar puncak zona inti bendungan dapat diambil minimal 3,00 m.

Untuk ketebalan dasar Bendungan Seulimeum di desain sebesar 21,90 meter, dengan lebar puncak 3,00 meter. Sedangkan kemiringan lereng yang ditetapkan adalah 1 : 0,35. Kriteria dan spesifikasi material timbunan inti bisa dilihat di Tabel 4.8

Tabel 4.8 Kriteria dan spesifikasi material timbunan inti

No.	Variable	Kriteria Desain	Hasil Analisa	Satuan	Keterangan
1.	Jenis material	Material gradasi halus (lolos ayakan no.200)	Lanau lempung		Memenuhi
2.	Kurva gradasi butiran	Masuk dalam zona kedap air	Masuk dalam zona kedap air		Memenuhi
3.	Sifat Material	Plastis	Plastisitas sedang ~ tinggi		Memenuhi
4.	Batas Atterberg :				
	Batas cair (LL)	30 ~ ≥ 50	51,03	%	Memenuhi
	Batas plastis (PL)	30 ~ ≥ 50	19,51	%	Tidak memenuhi
	Indeks plastisitas (PI)	20 ~ ≥ 35	31,52	%	Memenuhi
5.	Permeabilitas	$\leq 1 \times 10^{-5}$	$5,610 \times 10^{-8}$	cm/dt	Memenuhi
6.	Kadar air lapangan	-2 ~ +4 OMC	30	%	
7.	Dry Density	$\geq 1,40$	1,35	t/m ³	Tidak memenuhi
8.	D60		0,043	mm	
9.	D30		0,0078	mm	
10.	D10		0,0001	mm	
11.	Koefisien keseragaman (Cu)	>4	430,000		
12.	Koefisien gradasi (Cc)	>1 ~ 3	14,149		

Sumber : Hasil analisa

Bahan material tanah yang dipergunakan untuk timbunan inti bendungan di ambil dari lokasi *borrow area b*, dari *Dam Site* berjarak 3,00 km arah hulu Kr. Seulimeum tepatnya di daerah Lambaro Tunong yang kondisinya berupa bekas ladang dan semak belukar, dengan tebal tanah efektif adalah 2,00 meter dengan luas lahan 76,00 Ha (760.000,00 m²) sehingga diperoleh volume yang tersedia sebesar 1.520.000,00 m³, sedangkan volume kebutuhan timbunan inti sebesar 131.331,00 m³. Jadi volume untuk cadangan sebesar 1.388.669,00 m³.

- Spesifikasi dan kriteria material inti pada Bendungan Seulimeum hasil pengujian laboratorium yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Puslitbang Sumber Daya Air adalah sebagai berikut :
 - Jenis tanah timbunan inti adalah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (CH), dapat digunakan untuk lapisan inti tubuh bendungan.

- Koefisien permeabilitas (k) material kedap air sebesar $5,610 \times 10^{-10}$ m/det, sedangkan koefisien permeabilitas (k) minimum yang diijinkan adalah 1×10^{-7} m/det.
- Merupakan campuran dari pasir (32,60%), lanau (43,97%), dan lempung (23,43%).

2. Timbunan Zona Filter dan Transisi

Zona filter biasanya ditempatkan pada kedua sisi dari zona kedap air yaitu di sisi hulu dan hilir, berfungsi untuk mencegah erosi buluh pada kondisi surut cepat dan di sisi hilir untuk mencegah erosi buluh pada kondisi muka air normal. Tebal filter biasanya disesuaikan dengan kemudahan pelaksanaan (*workability*), pengaruh pembuntuan (*clogging*) dan gempa bumi. Tebal filter minimum 2,00 m sampai 3,00 m dan tebal minimum filter miring adalah 2,00 m dekat puncak bendungan, sedangkan pada desain tubuh Bendungan Seulimeum tebal zona filter adalah 3,00 m dan kemiringannya 1 : 0,35.

Kriteria persyaratan bahan filter menurut U.S.B.R. dan *U.S. Army Corps of Engineers*, yaitu:

$$\frac{(D_{15})_f}{(D_{85})_s} < 5$$

$$\frac{(D_{15})_f}{(D_{15})_s} > 5$$

$$\frac{(D_{50})_f}{(D_{50})_s} < 25$$

Penentuan gradasi bahan untuk filter tubuh Bendungan Seulimeum adalah sebagai berikut :

Diketahui : $(D_{85})_s = 0,38$ mm, $(D_{15})_s = 0,0035$ mm, $(D_{50})_s = 0,023$ mm

$$(D_{15})_f < 5 \times 0,38 = 1,90 \text{ mm}$$

$$(D_{15})_f < 5 \times 0,0035 = 0,0175 \text{ mm}$$

$$(D_{50})_f < 25 \times 0,023 = 0,575 \text{ mm}$$

Kriteria dan spesifikasi untuk material filter Bendungan Seulimeum merupakan hasil pengujian laboratorium, yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Puslitbang Sumber Daya Air. Kriteria dan spesifikasi material timbunan filter bisa dilihat di Tabel 4.9

Tabel 4.9 Kriteria dan spesifikasi material filter

No.	Variable	Kriteria Desain	Hasil Analisa	Satuan	Keterangan
1.	Jenis material	Pasir dan krikil	Pasir dan krikil		Memenuhi
2.	Kurva gradasi butiran	Masuk dalam zona filter	Di dalam zona filter (sesuai gambar)		Memenuhi
3.	Sifat Material	Tidak plastis	Tidak plastis		Memenuhi
4.	(D15)f/(D85)s	< 5			
5.	(D15)f/(D15)s	> 5			
6.	Permeabilitas	$1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3}$	8×10^{-2}	cm/dt	Memenuhi
7.	D60		1,500	mm	
8.	D30		0,310	mm	
9.	D10		0,055	mm	
10.	Dmax		60,00	mm	
11.	Butiran < 0,075 mm		0,94	%	
12.	Koefisien keseragaman (Cu)	>4	27,273		
13.	Koefisien gradasi (Cc)	>1 ~ 3	1,165		

Sumber : Hasil analisa

Material untuk bahan timbunan filter diperoleh dari lokasi *quarry* koral 2, dari *Dam Site* berjarak sekitar 6,00 km arah selatan tepatnya di Kr. Aceh daerah Alurgitung yang ditambang oleh perusahaan lokal, dengan tebal pasir dan krikil efektif adalah 3,00 meter dengan luas lahan 55,00 Ha (550.000,00 m²) sehingga diperoleh volume timbunan yang tersedia sebesar 1.650.000,00 m³ sedangkan volume kebutuhan sebesar 77.518,70 m³. Jadi volume untuk cadangan sebesar 1.572.481,30 m³.

- Spesifikasi dan kriteria material filter dan transisi pada Bendungan Seulimeum hasil pengujian laboratorium yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Puslitbang Sumber Daya Air adalah sebagai berikut :
 - Merupakan campuran dari kerikil (10,45%), pasir (76,51%) dan lanau+lempung (13,04%).
 - Syarat keamanan hidraulik bahan urugan filter
 - Syarat keamanan hidraulik terhadap erosi buluh (*piping*)

Pori-pori dalam filter (yang letaknya bersinggungan dengan urugan tanah dan batuan yang mudah tererosi) harus cukup kecil, sehingga dapat mencegah terangkutnya butir padat urugan yang halus masuk ke dalam pori-pori tersebut.
 - Syarat keamanan hidraulik yang berkaitan dengan kelulusan air

Pori-pori dalam filter harus besar, sehingga kelulusan air yang terjadi akan memadai (kelulusan airnya minimum 25 x kelulusan air dari material yang dilindungi), dan air rembesan dapat ke luar dengan bebas, dengan demikian gaya rembesan dan tekanan hidrostatik dapat dikendalikan dengan baik. Pemadatan tidak boleh dilakukan secara berlebihan, apabila dikhawatirkan akan terjadi kehancuran bahan urugan filter sehingga dapat mengurangi kelulusan airnya.

3. Timbunan Zona Random

Timbunan zona random merupakan zona lulus air yang berfungsi memikul beban air dan menstabilkan lereng hulu dan hilir bendungan terhadap pengaruh gaya-gaya luar. Bahan urugan yang digunakan harus memiliki kekuatan geser yang tinggi. Sesuai dengan (RSNI T-01-2002) material terbaik untuk urugan zona lulus air adalah batuan keras ukuran bongkah, kerakal, kerikil, dan kadar butiran halus harus sekecil mungkin.

Material bahan timbunan zona random diperoleh dari lokasi *quarry* koral 1, dari *Dam Site* berjarak sekitar 10 km arah barat laut tepatnya Kr. Aceh didaerah Lampisang dan *quarry* koral 2, dari *Dam Site* berjarak sekitar 6,00 km arah selatan tepatnya di Kr. Aceh didaerah Alurgitung. Lokasi *quarry* koral 1 memiliki tebal efektif 3,00 m dengan luas lahan 34,00 ha (340.000 m²) sehingga diperoleh volume total 1.020.000,00 m³ sedangkan kebutuhan untuk timbunan sebesar 665.567,89 m³. Jika masih kurang, maka material bisa diambil dari *quarry* koral 2 dan *quarry* batu 1 yang berada di Alurgitung dan Data Lam Bate.

Sedangkan dari hasil uji laboratorium tanah dan batuan diperoleh sudut geser rata-rata pada lokasi tersebut adalah sebesar 43°, memenuhi kriteria.

4. Rip-rap

Rip-rap merupakan pelindung lereng (*armor*) dari hempasan ombak dan penurunan mendadak permukaan air waduk yang dapat menggerus permukaan lereng hulu bendungan. Material konstruksi untuk rip-rap bervariasi dapat berupa hamparan batu pelindung, hamparan aspal dan beton. Pada desain Tubuh Bendungan Seulimeum menggunakan hamparan batu pelindung, karena dianggap merupakan yang paling baik dan bahan tersedia di sekitar bendungan.

Bahan untuk rip-rap di peroleh dari lokasi *quarry* batu 1, dari *Dam Site* berjarak sekitar 12 km ke arah utara tepatnya di daerah Data Lam Bate, tata guna lahan berupa semak belukar dan pepohonan milik perhutani. Lokasi tersebut memiliki tebal efektif batuan 5,00 m dengan luas area 180,00 ha (1.800.000,00 m³) sehingga memiliki

volume 9.000.000,00 m³, sedangkan volume yang dibutuhkan sebesar 36.377,50 m³. Jadi terdapat volume cadangan sebesar 8.963.622,50 m³.

Tebal lapisan rip-rap pada Bendungan Seulimeum adalah 1,00 m dengan diameter rata-rata batu 52,00 cm, mampu menahan ombak dengan tinggi antara 2,41 – 3,00 m. Sehingga ombak di atas permukaan waduk tidak dapat menyentuh material urugan secara langsung.

A. Metode Pemadatan Timbunan Tubuh Bendungan di Lapangan

Tujuan pemadatan adalah untuk memperoleh stabilitas tanah dan memperbaiki sifat-sifat teknisnya. Prosedur pelaksanaan di lapangan pada umumnya diterangkan dibawah ini.

- Ketebalan lapisan timbunan yang dipadatkan berkisar antara 15 cm sampai 50 cm, bergantung pada ukuran, tipe alat pemadat, dan ukuran butiran maksimum tanah yang dipadatkan.
- Pemadatan tanah dilakukan peralatan *static roller*, sedangkan tanah pasir dan isian batuan dilakukan dengan *vibratory roller*.
- Untuk standar untuk pemadatan timbunan tubuh bendungan, direkomendasikan dengan standar Proctor. Prinsip pengujiannya, tanah di dalam alat pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4}$ m³, dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan.
- Pemadatan dengan Proctor dimodifikasi (*modified Proctor*) kurang direkomendasikan, karena menghasilkan tanah yang lebu kaku atau kurang elastis. Akibatnya, tanah menjadi lebih mudah retak (*crack*), terutama pada tanah lempung. Prinsip pengujiannya, menggunakan *mould* yang sama, hanya berat penumbuknya diganti dengan yang 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Pada pengujian ini, tanah di dalam *mould* ditumbuk dalam 5 lapisan.
- Untuk timbunan inti kedap air dilakukan sebaik-baiknya, minimal kepadatan 95% dari kepadatan maksimal (γ_{dmax}). Untuk usaha ini, kerap dilakukan penyiraman (*watering*).

4.6 Penurunan (*Settlement*) pada Zona Inti Tubuh Bendungan Seulimeum

Penimbunan ekstra diperlukan sehubungan dengan terjadinya gejala konsolidasi pada tubuh dan pondasi bendungan, karena prosesnya berjalan lama sesudah pembangunan bendungan tersebut. Penimbunan ekstra melebihi tinggi dan volume rencana dengan

perhitungan dilakukan agar ketika proses konsolidasinya berakhir, maka penurunan tinggi dan penyusutan volume akan mendekati tinggi dan volume rencana bendungan.

Perhitungan ada dibawah ini :

1. Proses konsolidasi pada tubuh bendungan

- Besarnya penurunan (*settlement*) tubuh bendungan (ΔH) segera sesudah bendungan selesai dibangun dapat di hitung dengan rumus :

$$\Delta H = \frac{1}{2E} \times \gamma \times H^2 \times T$$

$$E = \frac{1}{-m_v}$$

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w m_v}$$

Dimana :

ΔH = penurunan tubuh bendungan (m)

γ = berat jenis bahan tubuh bendungan (1,721 ton/m³)

H = tinggi bendungan (30 m)

T = koefisien penurunan (antara 0,3 – 0,5, yang didasarkan pada type bendungan dan kecepatan pelaksanaan penimbunannya)

k = koefisien permeabilitas tanah (3,990x10⁻⁷ cm/det)

maka dapat dihitung :

$$m_v = \frac{k}{C_v \cdot \gamma_w} = \frac{3,99 \times 10^{-7}}{7,29 \times 10^{-3} \cdot 1} = 5,473 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{gr}$$

$$E = \frac{1}{-m_v} = \frac{1}{-5,473 \times 10^{-5}} = 18271,514 \text{ gr/cm}^2 = 182,715 \text{ ton/m}^2$$

$$\Delta H = \frac{1}{2 \cdot 182,715} \times 1,721 \times 30^2 \times 0,4 = 1,695 \approx 1,70 \text{ m}$$

- Persentase *settlement* yang terjadi adalah sebesar :

$$P (\%) = \frac{\Delta H}{H} = \frac{1,70}{30,00} = 5,667 \%$$

- Waktu yang diperlukan untuk konsolidasi 90% adalah sebagai berikut :

$$t_{90} = \frac{T_{90} \cdot H^2}{C_v} = \frac{0,848 \cdot 3000^2}{7,290 \times 10^{-3}} = \frac{1046913580}{360 \times 24 \times 3600} = 33,658 \text{ tahun}$$

t_{90} = waktu penurunan 90% (tahun)

T_{90} = faktor waktu 90% (0,848)

C_v = koefisien konsolidasi (7,290x10⁻³ cm²/det)

4.7 Analisa Stabilitas Lereng Bendungan

Parameter desain bendungan hasil uji Laboratorium Mekanika Tanah dapat diperiksa pada Tabel 4.10, dengan koefisien gempa untuk bendungan dihitung dengan menggunakan koefisien gempa termodifikasi berdasarkan kriteria desain yang telah ditentukan.

Tabel 4.10 Parameter Desain Bahan Urugan Bendungan Seulimeum

No.	Parameter Desain	Inti	Filter	Transisi	Random	Rip-rap
1	Spesific gravity (Gs)	2,64	-	-	-	-
2	Berat volume kering γ_d (kN/m ³)	13,5	-	-	-	-
3	Kadar air OMC W _n (%)	30	-	-	-	-
4	Kadar air asli (%)	34	-	-	-	-
5	Berat Volume pemadatan γ_n (kN/m ³)	17,21	19	19	20	20
6	Berat volume jenuh γ_{sat} (kN/m ³)	18,42	20	20	22	22
7	Kohesi Total C _{uu} (t/m ²)	5	-	-	-	-
8	Sudut geser dalam Total ϕ_{uu} (°)	9	-	-	-	-
9	Kohesi geser dalam Efektif C' _{cuB} (t/m ²)	1	0	0	0	0
10	Sudut geser dalam efektif ϕ'_{cuB} (°)	25	32	35	43	43
11	Koefisien Permeabilitas k (m/dt)	5,610x10 ⁻¹⁰	8,00x10 ⁻⁴	8,00x10 ⁻⁴	7,50x10 ⁻³	16,00x10 ⁻³

Sumber : Hasil Uji Laboratorium Mekanika Tanah

4.7.1 Analisa Stabilitas Lereng Metode Fellenius

❖ Pada hulu bendungan saat kondisi kosong tanpa beban gempa

1. Menentukan pusat bidang longsor dengan cara coba-coba di sepanjang garis vertikal yang melalui titik O dan titik P, sampai didapatkan angka keamanan minimum.
2. Membagi bidang longsor menjadi beberapa bagian sama lebar $b = 7,600$ m, kemudian masing-masing pias dihitung luas (A) dan gaya beratnya (W) tiap zona material.

Contoh perhitungan pada pias 2 :

a. Zona Inti (*core*)

$$A = 27,202 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 27,202 \cdot 17,210 = 468,146 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$A = 40,103 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 40,103 \cdot 19,000 = 761,957 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$A = 24,437 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 24,437 \cdot 19,000 = 464,303 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$A = 7,458 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 7,458 \cdot 20,000 = 149,160 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$A = 1,344 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 1,344 \cdot 20,000 = 26,880 \text{ kN}$$

3. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$

4. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 468,146 \sin 41^\circ = 307,104 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 761,957 \sin 41^\circ = 499,844 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 464,303 \sin 41^\circ = 304,583 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 149,160 \sin 41^\circ = 97,849 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

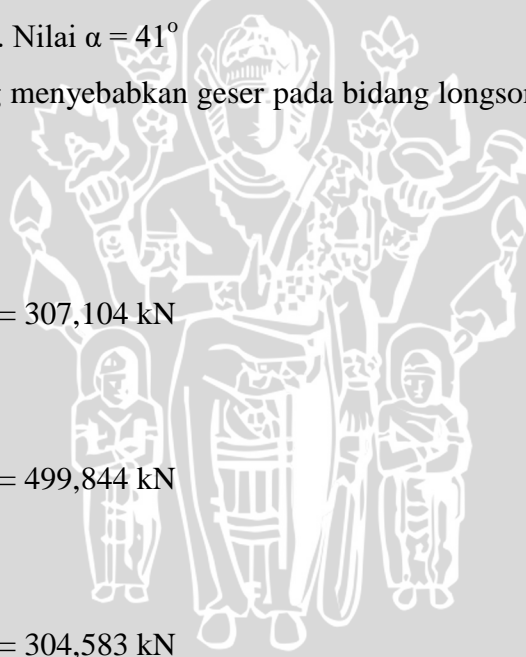
$$T = W \sin \alpha$$

$$= 26,880 \sin 41^\circ = 17,633 \text{ kN}$$

5. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$N = W \cos \alpha$$



$$= 468,146 \cos 41^\circ = 353,451 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 761,957 \cos 41^\circ = 575,278 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 464,303 \cos 41^\circ = 350,549 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 149,160 \cos 41^\circ = 112,616 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 26,880 \cos 41^\circ = 20,294 \text{ kN}$$

6. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\bullet \quad C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 719,029 \text{ kN}$$

$$\bullet \quad C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 253,775 \text{ kN}$$

7. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C . L + (N \tan \theta))}{\sum T}$$

$$= \frac{972,803 + 15178,546}{3101,332} = 5,208$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi kosong tanpa beban gempa**

1. Menentukan pusat bidang longsor dengan cara coba-coba di sepanjang garis vertikal yang melalui titik O dan titik P, sampai didapatkan angka keamanan minimum.
2. Membagi bidang longsor menjadi beberapa bagian sama lebar $b = 7,668 \text{ m}$, kemudian masing-masing pias dihitung luas (A) dan gaya beratnya (W) tiap zona material.

Contoh perhitungan pada pias 2 :

a. Zona Inti (*core*)

$$A = 41,132 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 41,132 \cdot 17,210 = 707,882 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$A = 41,965 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 41,965 \cdot 19,000 = 797,335 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$A = 2,830 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 2,830 \cdot 19,000 = 53,770 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$A = 18,762 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 18,762 \cdot 20,000 = 375,240 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$A = 0,000 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 0,000 \cdot 20,000 = 0,000 \text{ kN}$$

3. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$

4. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 707,882 \sin 41^\circ = 464,370 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 797,335 \sin 41^\circ = 523,052 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 53,770 \sin 41^\circ = 35,273 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 375,240 \sin 41^\circ = 246,157 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 0,000 \sin 41^\circ = 0,000 \text{ kN}$$

5. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 707,882 \cos 41^\circ = 534,451 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 797,335 \cos 41^\circ = 601,988 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 53,770 \cos 41^\circ = 40,596 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 375,240 \cos 41^\circ = 283,306 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$N = W \cos \alpha$$

$$= 0,000 \cos 41^\circ = 0,000 \text{ kN}$$

6. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\bullet \text{ C . L} = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 698,415 \text{ kN}$$

7. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C \cdot L + (N \tan \theta))}{\sum T}$$

$$= \frac{698,415 + 15445,964}{4570,057} = 3,533$$

4.7.2 Analisis Stabilitas Bendungan Urugan Akibat Beban Gempa Cara Koefisien Gempa Termodifikasi.

Berdasarkan Peta Zona Gempa Indonesia Sebagai Acuan Dasar Perencanaan Dan Perancangan Bangunan yang diterbitkan oleh Puslitbang Sumber Daya Air, Balitbang Pekerjaan Umum 2004, besarnya koefisien gempa di lokasi rencana Waduk Seulimeum dihitung untuk mengetahui stabilitas lereng bendungan dengan

beban gempa, terlebih dahulu dihitung nilai koefisien gempa termodifikasi (k), yaitu :

- Zona gempa : Zona E dengan koefisien gempa $z = 1,20$
- Jenis batuan dasar : batuan, periode dominan $T_s < 0,35$
faktor koreksi $v = 1,00$

penentuan kelas bangunan dan beban gempa sebagai berikut :

- Kapasitas waduk = 31,545 juta m^3 $FR_k = 4$
- Tinggi bendungan = 30 m $FR_t = 4$
- Kebutuhan evakuasi = > 1000 orang $FR_e = 12$
- Tingkat bahaya hilir = sangat tinggi $FR_h = 12$

$$FR_{tot} = FR_k + FR_t + FR_e + FR_h \\ = 4 + 4 + 12 + 12 = 30$$

Dari hasil perhitungan faktor risiko total (bobot) = 30, maka kelas risiko Bendungan Seulimeum termasuk kelas III (tinggi). Sehingga analisis menggunakan gempa desain maksimum (*Maximum Design Earthquake*, MDE) $T = 5000$ dengan persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan.

$$Ad = Z \cdot Ac \cdot v$$

dimana,

k = koefisien gempa

Ad = percepatan gempa terkoreksi (gal)

g = percepatan gravitasi (981 cm/dt^2)

Z = koefisien zona gempa berdasar peta zonasi gempa Indonesia

Ac = percepatan gempa dasar (gal)

v = faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

perhitungan percepatan gempa terkoreksi sebagai berikut :

$$Ad = Z \cdot Ac \cdot v \\ = 1,20 \cdot 330 \cdot 1 \\ = 396$$

Sesuai dengan "*Seismic Design Guideline for Fill Dam*", koefisien gempa desain pada tubuh bendungan yang merupakan fungsi dari kedalaman, dapat dihitung dengan persamaan :

$$K_h = \frac{a_d}{g}$$

$$K_o = K_h \cdot \alpha_2$$

Dimana :

K_o = koefisien gempa desain terkoreksi di permukaan tanah

K_h = koefisien gempa dasar yang tergantung pada periode ulang T

a_d = percepatan gempa maksimum yang terkoreksi di permukaan tanah (gal)

g = gravitasi (981 cm/dt²)

α_2 = koreksi pengaruh jenis struktur, untuk bendungan tipe urugan (0,50)

perhitungan koefisien gempa termodifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_h &= \frac{A_d}{g} \\ &= \frac{396}{981} \\ &= 0,404 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_o &= K_h \cdot \alpha_2 \\ &= 0,404 \cdot 0,5 \\ &= 0,202 \end{aligned}$$

Dalam analisis stabilitas ini koefisien gempa pada kedalaman Y dari puncak bendungan berbeda-beda. Peninjauan dilakukan pada $Y = 0,25H$; $0,50H$; $0,75H$ dan H .

$$\text{Untuk } Y/H = 0,25; K = K_o \cdot (2,5 - 1,85 \cdot (Y/H)) = 0,202 \cdot (2,5 - 1,85 \cdot 0,25) = 0,410$$

$$\text{Untuk } Y/H = 0,50; K = K_o \cdot (2,0 - 0,60 \cdot (Y/H)) = 0,202 \cdot (2,0 - 0,60 \cdot 0,50) = 0,340$$

$$\text{Untuk } Y/H = 0,75; K = K_o \cdot (2,0 - 0,60 \cdot (Y/H)) = 0,202 \cdot (2,0 - 0,60 \cdot 0,75) = 0,310$$

$$\text{Untuk } Y/H = 1,0; K = K_o \cdot (2,0 - 0,60 \cdot (Y/H)) = 0,202 \cdot (2,0 - 0,60 \cdot 1,0) = 0,280$$

❖ **Pada hulu bendungan saat kondisi kosong dengan beban gempa cara koefisien gempa termodifikasi.**

❖ **Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,41$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,41 \cdot 353,451 = 144,915 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,41 \cdot 307,104 = 125,913 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 575,278 = 235,864 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 499,844 = 204,936 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 350,549 = 143,725 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 304,583 = 124,879 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 112,616 = 46,172 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 97,849 = 40,118 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 20,294 = 8,321 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 17,633 = 7,230 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 719,029 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 253,775 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{972,803 + 144268,693}{7729,378 + 3101,332} = 1,422$$

❖ Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 353,451 = 120,173 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 307,104 = 104,415 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 575,278 = 195,594 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 499,844 = 169,947 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 350,549 = 119,187 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 304,583 = 103,558 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 112,616 = 38,289 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 97,849 = 33,269 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 20,294 = 6,900 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 17,633 = 5,995 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 719,029 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 253,775 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{972,803 + 14556,717}{3101,332 + 6409,728} = 1,633$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 353,451 = 109,570 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 307,104 = 95,202 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 575,278 = 178,336 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 499,844 = 154,952 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 350,549 = 108,670 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 304,583 = 94,421 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 112,616 = 34,911 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 97,849 = 30,333 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 20,294 = 6,291 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 17,633 = 5,466 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran ($C \cdot L$) yaitu :

$$\bullet \quad C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 719,029 \text{ kN}$$

$$\bullet C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 253,775 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{972,803 + 14611,584}{3101,332 + 5844,164} = 1,742$$

❖ **Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

- a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 353,451 = 98,966 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 307,104 = 85,989 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 575,278 = 161,078 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 499,844 = 139,956 \text{ kN}$$

- c. Zona Transisi

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 350,549 = 98,154 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 304,583 = 85,283 \text{ kN}$$

- d. Zona Random

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 112,616 = 31,532 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 97,849 = 27,398 \text{ kN}$$

- e. Rip-rap

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 20,294 = 5,682 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 17,633 = 4,937 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 719,029 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 253,775 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{972,803 + 14692,595}{3101,332 + 5278,600} = 1,869$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi kosong dengan beban gempa**

❖ **Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 534,451 = 219,125 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 464,370 = 190,392 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 601,988 = 246,815 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 523,052 = 214,451 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 40,596 = 16,645 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 35,273 = 14,462 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 283,306 = 116,156 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 246,157 = 100,925 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 698,415 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{698,415 + 14553,527}{4570,057 + 7523,478} = 1,261$$

❖ Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 534,451 = 181,713 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 464,370 = 157,886 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 601,988 = 204,676 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 523,052 = 177,838 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 40,596 = 13,803 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 35,273 = 11,993 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 283,306 = 96,324 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 246,157 = 83,694 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 698,415 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di

hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{698,415 + 14770,028}{4570,057 + 6238,982} = 1,431$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 534,451 = 165,680 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 464,370 = 143,955 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 601,988 = 186,616 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 523,052 = 162,146 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 40,596 = 12,585 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 35,273 = 10,935 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 283,306 = 87,825 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 246,157 = 76,309 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 698,415 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di

hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{698,415 + 14862,814}{4570,057 + 5688,483} = 1,517$$

❖ Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 534,451 = 149,646 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 464,370 = 130,024 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 601,988 = 168,557 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 523,052 = 146,454 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 40,596 = 11,367 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 35,273 = 9,876 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 283,306 = 79,326 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 246,157 = 68,924 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 698,415 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di

hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C \cdot L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{698,415 + 14955,601}{4570,057 + 5137,985} = 1,612$$

- ❖ Pada hulu bendungan saat kondisi NWL (*Normal Water Level*) tanpa beban gempa.

1. Menghitung gaya berat total (W_{tot}) tiap zona material yang merupakan jumlah gaya berat basah (W_1) + gaya berat jenuh (W_2). Contoh perhitungan pada pias 2 didapatkan nilai :

- a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 7,873 \cdot 17,210 + 22,780 \cdot 18,420 = 555,102 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Zona Filter

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 13,244 \cdot 19,000 + 26,859 \cdot 20,000 = 788,816 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 13,244 \cdot 19,000 + 11,193 \cdot 20,000 = 475,496 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Zona Random

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 11,204 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 224,080 \text{ kN} \end{aligned}$$

- e. Rip-rap

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 1,344 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 26,880 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$

3. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

- a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T &= W_{tot} \sin \alpha \\ &= 555,102 \sin 41^\circ = 364,147 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T &= W_{tot} \sin \alpha \\ &= 788,816 \sin 41^\circ = 517,463 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Zona Transisi

$$T = W_{\text{tot}} \sin \alpha$$

$$= 475,496 \sin 41^\circ = 311,925 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T = W_{\text{tot}} \sin \alpha$$

$$= 224,080 \sin 41^\circ = 146,996 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T = W_{\text{tot}} \sin \alpha$$

$$= 26,880 \sin 41^\circ = 17,633 \text{ kN}$$

4. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 555,102 \cos 41^\circ = 419,102 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 788,816 \cos 41^\circ = 595,556 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 475,496 \cos 41^\circ = 358,999 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 224,080 \cos 41^\circ = 169,180 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 26,880 \cos 41^\circ = 20,294 \text{ kN}$$

5. Menghitung beban dari tekanan hidrostatik yang bekerja pada irisan ke-i (U) saat waduk dalam kondisi terisi air, dimana (u) merupakan ketinggian air dari permukaan sampai dengan dasar irisan dan (i) merupakan panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i, adalah :

a. Tekanan hidrostatik yang bekerja pada irisan ke-2

$$u = 8,330 \text{ m}$$

$$i = \frac{b}{\cos \alpha} = \frac{7,600}{\cos 41^\circ} = 10,066$$

$$U = u \cdot i = 8,330 \cdot 10,066 = 83,852$$

6. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

- ♦ $C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$
- ♦ $C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$

7. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum C \cdot L + (N - U)\tan \theta}{\sum T}$$

$$= \frac{194,561 + 15186,455}{2640,925} = 5,824$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi NWL (*Normal Water Level*) tanpa beban gempa.**

1. Menghitung gaya berat total (W_{tot}) tiap zona material yang merupakan jumlah gaya berat basah (W_1) + gaya berat jenuh (W_2). Contoh perhitungan pada pias 2 didapatkan nilai :

a. Zona Inti (*core*)

$$W_{\text{tot}} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}}$$

$$= 28,469 \cdot 17,210 + 12,400 \cdot 18,420 = 718,359 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$W_{\text{tot}} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}}$$

$$= 41,965 \cdot 19,000 + 0,000 \cdot 20,000 = 797,335 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$W_{\text{tot}} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}}$$

$$= 2,830 \cdot 19,000 + 0,000 \cdot 20,000 = 53,770 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$W_{\text{tot}} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}}$$

$$= 18,762 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 375,240 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$W_{\text{tot}} = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$

3. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 718,359 \sin 41^\circ = 471,244 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 797,335 \sin 41^\circ = 523,052 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 53,770 \sin 41^\circ = 35,273 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 375,240 \sin 41^\circ = 246,157 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$T = 0,000 \text{ kN}$$

4. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 718,359 \cos 41^\circ = 542,361 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 797,335 \cos 41^\circ = 601,988 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 53,770 \cos 41^\circ = 40,596 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 375,240 \cos 41^\circ = 283,306 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$N = 0,000 \text{ kN}$$

5. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

6. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum C \cdot L + (N - U)\tan \theta}{\sum T}$$

$$= \frac{139,683 + 15681,295}{4580,519} = 3,454$$

❖ Pada hulu bendungan saat kondisi NWL (*Normal Water Level*) dengan beban gempa.

❖ Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 419,102 = 171,832 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 364,147 = 149,300 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 595,556 = 244,178 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 517,463 = 212,160 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 358,999 = 147,190 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 311,925 = 127,889 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 169,180 = 69,364 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 146,996 = 60,269 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 20,294 = 8,321 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 17,633 = 7,230 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\bullet \text{ C . L} = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\bullet \text{ C . L} = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14312,475}{2640,925 + 8422,211} = 1,311$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 419,102 = 142,495 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 364,147 = 123,810 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 595,556 = 202,489 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 517,463 = 175,938 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 358,999 = 122,060 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 311,925 = 106,055 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 169,180 = 57,521 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 146,996 = 49,979 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 20,294 = 6,900 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 17,633 = 5,995 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{194,561 + 14461,691}{2640,925 + 6984,272} = 1,523 \end{aligned}$$

❖ Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 419,102 = 129,922 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 364,147 = 112,886 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 595,556 = 184,622 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 517,463 = 160,414 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 358,999 = 111,290 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 311,925 = 96,697 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 169,180 = 52,446 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 146,996 = 45,569 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 20,294 = 6,291 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 17,633 = 5,466 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14525,641}{2640,925 + 6368,013} = 1,634$$

❖ **Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 419,102 = 117,349 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 364,147 = 101,961 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 595,556 = 166,756 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 517,463 = 144,890 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 358,999 = 100,520 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 311,925 = 87,339 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 169,180 = 47,371 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 146,996 = 41,159 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 20,294 = 5,682 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 17,633 = 4,937 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

- ◆ $C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$
- ◆ $C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14589,591}{2640,925 + 5751,754} = 1,762$$

- ❖ Pada hilir bendungan saat kondisi NWL (*Normal Water Level*) dengan beban gempa.
- ❖ Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 542,361 = 222,368 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 471,244 = 193,210 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 601,988 = 246,815 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 523,052 = 214,451 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 40,596 = 16,645 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 35,273 = 14,462 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 283,306 = 116,156 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 246,157 = 100,925 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran ($C \cdot L$) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 14693,746}{4580,519 + 7527,872} = 1,225$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 542,361 = 184,403 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 471,244 = 160,223 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 601,988 = 204,676 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 523,052 = 177,838 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 40,596 = 13,803 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 35,273 = 11,993 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 283,306 = 96,324 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 246,157 = 83,694 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 14926,486}{4580,519 + 6242,625} = 1,392$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

- a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 542,361 = 168,132 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 471,244 = 146,086 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 601,988 = 186,616 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 523,052 = 162,146 \text{ kN}$$

- c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 40,596 = 12,585 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 35,273 = 10,935 \text{ kN}$$

- d. Zona Random

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 283,306 = 87,825 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 246,157 = 76,309 \text{ kN}$$

- e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 15026,231}{4580,519 + 5691,805} = 1,476$$

❖ **Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

- a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 542,361 = 151,861 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 471,244 = 131,948 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 601,988 = 168,557 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 523,052 = 146,454 \text{ kN}$$

- c. Zona Transisi

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 40,596 = 11,367 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 35,273 = 9,876 \text{ kN}$$

- d. Zona Random

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 283,306 = 79,326 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 246,157 = 68,924 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 15125,977}{4580,519 + 5140,986} = 1,570$$

❖ **Pada hulu bendungan saat kondisi FWL (*Flood Water Level*) tanpa beban gempa.**

1. Menghitung gaya berat total (W_{tot}) tiap zona material yang merupakan jumlah gaya berat basah (W_1) + gaya berat jenuh (W_2). Contoh perhitungan pada pias 2 didapatkan nilai :

a. Zona Inti (*core*)

$$W_{tot} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat}$$

$$= 2,049 \cdot 17,210 + 28,439 \cdot 18,420 = 559,110 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$W_{tot} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat}$$

$$= 5,297 \cdot 19,000 + 34,806 \cdot 20,000 = 796,763 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$W_{tot} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat}$$

$$= 5,297 \cdot 19,000 + 19,139 \cdot 20,000 = 483,423 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 \\
 &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 9,206 \cdot 20,000 + 2,073 \cdot 22,000 = 229,726 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 \\
 &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 1,344 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 26,880 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$
3. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 559,110 \sin 41^\circ = 366,776 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 796,763 \sin 41^\circ = 522,677 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 483,423 \sin 41^\circ = 317,125 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 229,726 \sin 41^\circ = 150,700 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 26,880 \sin 41^\circ = 17,633 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned}
 N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\
 &= 559,110 \cos 41^\circ = 422,128 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned}
 N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\
 &= 796,763 \cos 41^\circ = 601,556 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 483,423 \cos 41^\circ = 364,984 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 229,726 \cos 41^\circ = 173,443 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 26,880 \cos 41^\circ = 20,294 \text{ kN} \end{aligned}$$

5. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

6. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum C . L + (N - U)\tan \theta}{\sum T} \\ &= \frac{194,561 + 14916,378}{2415,720} = 6,255 \end{aligned}$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi FWL (*Flood Water Level*) tanpa beban gempa.**

1. Menghitung gaya berat total (W_{tot}) tiap zona material yang merupakan jumlah gaya berat basah (W_1) + gaya berat jenuh (W_2). Contoh perhitungan pada pias 2 didapatkan nilai :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\ &= 17,774 \cdot 17,210 + 23,357 \cdot 18,420 = 736,126 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\ &= 41,965 \cdot 19,000 + 0,000 \cdot 20,000 = 797,335 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$W_{\text{tot}} = W_1 + W_2$$

$$\begin{aligned}
 &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 2,830 \cdot 19,000 + 0,000 \cdot 20,000 = 53,770 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 \\
 &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 18,762 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 375,240 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$W_{\text{tot}} = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$
3. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 736,126 \sin 41^\circ = 482,899 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 797,335 \sin 41^\circ = 523,052 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 53,770 \sin 41^\circ = 35,273 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 375,240 \sin 41^\circ = 246,157 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$T = 0,000 \text{ kN}$$

4. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

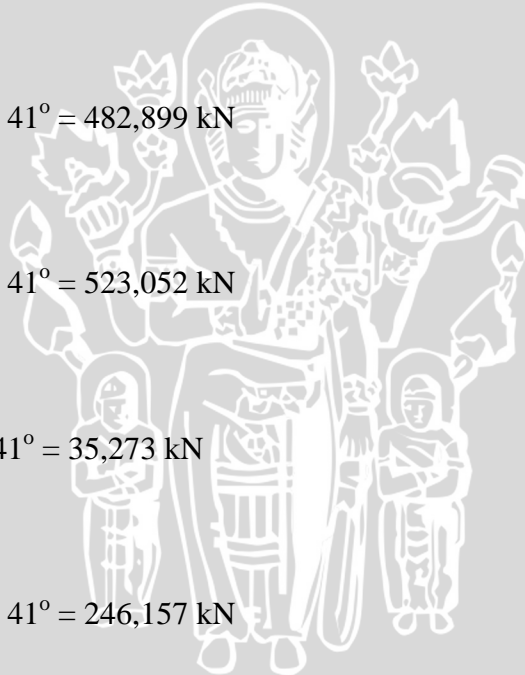
a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned}
 N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\
 &= 736,126 \cos 41^\circ = 555,775 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned}
 N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\
 &= 797,335 \cos 41^\circ = 601,988 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Zona Transisi



$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 53,770 \cos 41^\circ = 40,596 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 375,240 \cos 41^\circ = 283,306 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$N = 0,000 \text{ kN}$$

5. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

6. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum C . L + (N - U) \tan \theta}{\sum T}$$

$$= \frac{139,683 + 15693,294}{4606,229} = 3,437$$

❖ Pada hulu bendungan saat kondisi FWL (*Flood Water Level*) dengan beban gempa.

❖ Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 422,128 = 173,072 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 366,776 = 150,378 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 601,556 = 246,638 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 522,677 = 214,297 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 364,984 = 149,644 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 317,125 = 130,021 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 173,443 = 71,112 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 150,700 = 61,787 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 20,294 = 8,321 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 17,633 = 7,230 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\bullet \quad C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\bullet \quad C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C \cdot L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14025,418}{2414,153 + 8471,301} = 1,306$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 422,128 = 143,523 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 366,776 = 124,704 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 601,556 = 204,529 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 522,677 = 177,710 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 364,984 = 124,095 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 317,125 = 107,823 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 173,443 = 58,971 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 150,700 = 51,238 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 20,294 = 6,900 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 17,633 = 5,995 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14177,533}{2414,153 + 7025,372} = 1,522$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 422,128 = 130,860 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 366,776 = 113,701 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 601,556 = 186,482 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 522,677 = 162,030 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 364,984 = 113,145 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 317,125 = 98,309 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 173,443 = 53,767 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 150,700 = 46,717 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 20,294 = 6,291 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 17,633 = 5,466 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14242,725}{2414,153 + 6405,486} = 1,637$$

❖ Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 422,128 = 118,196 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 366,776 = 102,697 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 601,556 = 168,436 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 522,677 = 146,349 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 364,984 = 102,196 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 317,125 = 88,795 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 173,443 = 48,564 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 150,700 = 42,196 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 20,294 = 5,682 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 17,633 = 4,937 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran ($C \cdot L$) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14307,917}{2414,153 + 5785,600} = 1,768$$

❖ Pada hilir bendungan saat kondisi FWL (*Flood Water Level*) dengan beban gempa.

❖ Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 555,775 = 227,868 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 482,899 = 197,989 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 601,988 = 246,815 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 523,052 = 214,451 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 40,596 = 16,645 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 35,273 = 14,462 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 283,306 = 116,156 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 246,157 = 100,925 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 14700,503}{4606,229 + 7537,876} = 1,222$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

- a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 555,775 = 188,964 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 482,899 = 164,186 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 601,988 = 204,676 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 523,052 = 177,838 \text{ kN}$$

- c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 40,596 = 13,803 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 35,273 = 11,993 \text{ kN}$$

- d. Zona Random

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 283,306 = 96,324 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 246,157 = 83,694 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{139,683 + 14934,138}{4606,229 + 6250,922} = 1,388 \end{aligned}$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 555,775 = 172,290 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 482,899 = 149,699 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 601,988 = 186,616 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 523,052 = 162,146 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 40,596 = 12,585 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 35,273 = 10,935 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 283,306 = 87,825 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 246,157 = 76,309 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{139,683 + 15034,267}{4606,229 + 5699,370} = 1,472 \end{aligned}$$

❖ Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 555,775 = 155,617 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 482,899 = 135,212 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 601,988 = 168,557 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 523,052 = 146,454 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 40,596 = 11,367 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 35,273 = 9,876 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 283,306 = 79,326 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 246,157 = 68,924 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{139,683 + 151334,396}{4606,229 + 547,818} = 1,566 \end{aligned}$$

❖ Pada hulu bendungan saat kondisi LWL (*Low Water Level*) tanpa beban gempa.

1. Menghitung gaya berat total (W_{tot}) tiap zona material yang merupakan jumlah gaya berat basah (W_1) + gaya berat jenuh (W_2). Contoh perhitungan pada pias 2 didapatkan nilai :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 25,884 \cdot 17,210 + 4,757 \cdot 18,420 = 533,088 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$W_{tot} = W_1 + W_2$$

$$\begin{aligned}
 &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 29,136 \cdot 19,000 + 10,967 \cdot 20,000 = 772,924 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 \\
 &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 23,730 \cdot 19,000 + 0,707 \cdot 20,000 = 465,010 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 \\
 &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 11,260 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 225,200 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 \\
 &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{\text{sat}} \\
 &= 1,344 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 26,880 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$

3. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 533,088 \sin 41^\circ = 349,705 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 772,924 \sin 41^\circ = 507,038 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 465,010 \sin 41^\circ = 305,047 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 225,200 \sin 41^\circ = 147,731 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned}
 T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\
 &= 26,880 \sin 41^\circ = 17,633 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

- a. Zona Inti (*core*)

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 533,088 \cos 41^\circ = 402,481 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 772,924 \cos 41^\circ = 583,558 \text{ kN}$$

- c. Zona Transisi

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 465,010 \cos 41^\circ = 351,083 \text{ kN}$$

- d. Zona Random

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 225,200 \cos 41^\circ = 170,026 \text{ kN}$$

- e. Rip-rap

$$N = W_{\text{tot}} \cos \alpha$$

$$= 26,880 \cos 41^\circ = 20,294 \text{ kN}$$

5. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

6. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum C . L + (N - U)\tan \theta}{\sum T}$$

$$= \frac{194,561 + 15534,203}{3129,128} = 5,027$$

- ❖ Pada hilir bendungan saat kondisi LWL (*Low Water Level*) tanpa beban gempa.

1. Menghitung gaya berat total (W) tiap zona material yang merupakan jumlah gaya berat basah (W). Contoh perhitungan pada pias 2 didapatkan nilai :

- a. Zona Inti (*core*)

$$A = 41,132 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 41,132 \cdot 17,210 = 707,882 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$A = 41,965 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 41,965 \cdot 19,000 = 797,335 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$A = 2,830 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 2,830 \cdot 19,000 = 53,770 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$A = 18,762 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 18,762 \cdot 20,000 = 375,240 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$A = 0,000 \text{ m}^2$$

$$W = A \cdot \gamma_n$$

$$= 0,000 \cdot 20,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$

3. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 707,882 \sin 41^\circ = 464,370 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 797,335 \sin 41^\circ = 523,052 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 53,770 \sin 41^\circ = 35,273 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 375,240 \sin 41^\circ = 246,157 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T = W \sin \alpha$$

$$= 0,000 \sin 41^\circ = 0,000 \text{ kN}$$

4. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$N = W \cos \alpha \\ = 707,882 \cos 41^\circ = 534,451 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$N = W \cos \alpha \\ = 797,335 \cos 41^\circ = 601,988 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$N = W \cos \alpha \\ = 53,770 \cos 41^\circ = 40,596 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$N = W \cos \alpha \\ = 375,240 \cos 41^\circ = 283,306 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$N = W \cos \alpha \\ = 0,000 \cos 41^\circ = 0,000 \text{ kN}$$

5. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran ($C \cdot L$) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

6. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C \cdot L + (N \tan \theta))}{\sum T} \\ = \frac{139,683 + 15676,301}{4570,057} = 3,461$$

❖ Pada hulu bendungan saat kondisi LWL (*Low Water Level*) dengan beban gempa.

❖ Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ = 0,410 \cdot 402,481 = 165,017 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 349,705 = 143,379 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 583,558 = 239,259 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 507,038 = 207,886 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 351,083 = 143,944 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 305,047 = 125,069 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 170,026 = 69,711 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 147,731 = 60,570 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 20,294 = 8,321 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 17,633 = 7,230 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14698,775}{3129,128 + 8243,086} = 1,310$$

❖ Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 402,481 = 136,844 \text{ kN} \\ N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 349,705 = 118,900 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 583,558 = 198,410 \text{ kN} \\ N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 507,038 = 172,393 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 351,083 = 119,368 \text{ kN} \\ N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 305,047 = 103,716 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 170,026 = 57,809 \text{ kN} \\ N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 147,731 = 50,229 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 20,294 = 6,900 \text{ kN} \\ N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 17,633 = 5,995 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran ($C \cdot L$) yaitu :

$$\begin{aligned} \blacklozenge \quad C \cdot L &= c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN} \\ \blacklozenge \quad C \cdot L &= c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14841,409}{3129,128 + 6835,730} = 1,509$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 402,481 = 124,769 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 349,705 = 108,409 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 583,558 = 180,903 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 507,038 = 157,182 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 351,083 = 108,836 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 305,047 = 94,564 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 170,026 = 52,708 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 147,731 = 45,797 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 20,294 = 6,291 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 17,633 = 5,466 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14902,538}{3129,128 + 6232,577} = 1,613$$

❖ **Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 402,481 = 112,695 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 349,705 = 97,918 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 583,558 = 163,396 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 507,038 = 141,971 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 351,083 = 98,303 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 305,047 = 85,413 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 170,026 = 47,607 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 147,731 = 41,365 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 20,294 = 5,682 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 17,633 = 4,937 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14963,667}{3129,128 + 5629,425} = 1,731$$

❖ Pada hilir bendungan saat kondisi **LWL (Low Water Level)** dengan beban gempa.

❖ Koefisien gempa **$K_{0,25} = 0,410$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 534,451 = 219,125 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 464,370 = 190,392 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 601,988 = 246,815 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 523,052 = 214,451 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 40,596 = 16,645 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 35,273 = 14,462 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 283,306 = 116,156 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 246,157 = 100,925 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 14690,751}{4570,057 + 7523,478} = 1,226$$

❖ Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 534,451 = 181,713 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 464,370 = 157,886 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 601,988 = 204,676 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 523,052 = 177,838 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 40,596 = 13,803 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 35,273 = 11,993 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 283,306 = 96,324 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 246,157 = 83,694 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{139,683 + 14923,150}{4570,057 + 6238,982} = 1,394 \end{aligned}$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 534,451 = 165,680 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 464,370 = 143,955 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 601,988 = 186,616 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 523,052 = 162,146 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 40,596 = 12,585 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 35,273 = 10,935 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 283,306 = 87,825 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 246,157 = 76,309 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 15022,749}{4570,057 + 5688,483} = 1,478$$

❖ Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$

- Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 534,451 = 149,646 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 464,370 = 130,024 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 601,988 = 168,557 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 523,052 = 146,454 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 40,596 = 11,367 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 35,273 = 9,876 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 283,306 = 79,326 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 246,157 = 68,924 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{139,683 + 15122,348}{4570,057 + 5137,985} = 1,572 \end{aligned}$$

❖ Pada hulu bendungan saat kondisi penurunan muka air tiba-tiba (*Rapid drawdown*) tanpa beban gempa.

Analisa perhitungan stabilitas tubuh bendungan pada kondisi penurunan muka air waduk secara tiba-tiba (*rapid drawdown*) dilakukan pada waktu NWL (*Normal Water Level*) pada elevasi + 67,00 turun ke kondisi LWL (*Low Water Level*) pada elevasi + 61,00. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1981), untuk menganalisa hal tersebut semua bagian bendungan yang semula terletak di sebelah bawah garis depresi tetap dianggap jenuh.

1. Menghitung gaya berat total (W_{tot}) tiap zona material yang merupakan jumlah gaya berat basah (W_1) + gaya berat jenuh (W_2). Contoh perhitungan pada pias 2 didapatkan nilai :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 7,902 \cdot 17,210 + 22,78 \cdot 18,420 = 555,601 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 29,136 \cdot 19,000 + 10,967 \cdot 20,000 = 772,924 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 23,730 \cdot 19,000 + 0,707 \cdot 20,000 = 465,010 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 11,260 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 225,200 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} W_{tot} &= W_1 + W_2 \\ &= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat} \\ &= 1,344 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 26,880 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$

3. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 533,601 \sin 41^\circ = 364,474 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 772,924 \sin 41^\circ = 507,038 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 465,010 \sin 41^\circ = 305,047 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 225,200 \sin 41^\circ = 147,731 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 26,880 \sin 41^\circ = 17,633 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 533,601 \cos 41^\circ = 419,479 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 772,924 \cos 41^\circ = 583,558 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 465,010 \cos 41^\circ = 351,083 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 225,200 \cos 41^\circ = 170,026 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 26,880 \cos 41^\circ = 20,294 \text{ kN} \end{aligned}$$

5. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

- ♦ $C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$
- ♦ $C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$

6. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum C \cdot L + (N - U)\tan \theta}{\sum T}$$

$$= \frac{194,561 + 15543,525}{3148,011} = 4,999$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi penurunan muka air tiba-tiba (*Rapid drawdown*) tanpa beban gempa.**

1. Menghitung gaya berat total (W_{tot}) tiap zona material yang merupakan jumlah gaya berat basah (W_1) + gaya berat jenuh (W_2). Contoh perhitungan pada pias 2 didapatkan nilai :

a. Zona Inti (*core*)

$$W_{tot} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat}$$

$$= 28,469 \cdot 17,210 + 12,400 \cdot 18,420 = 718,359 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$W_{tot} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat}$$

$$= 41,965 \cdot 19,000 + 0,000 \cdot 20,000 = 797,335 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$W_{tot} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat}$$

$$= 2,830 \cdot 19,000 + 0,000 \cdot 20,000 = 53,770 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$W_{tot} = W_1 + W_2$$

$$= A_1 \cdot \gamma_n + A_2 \cdot \gamma_{sat}$$

$$= 18,762 \cdot 20,000 + 0,000 \cdot 22,000 = 375,240 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$W_{tot} = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menentukan sudut yang dibentuk oleh jari-jari bidang longsor (α) dengan arah gaya berat masing-masing pias. Nilai $\alpha = 41^\circ$

3. Menghitung momen yang menyebabkan geser pada bidang longsor (T) tubuh bendungan yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 718,359 \sin 41^\circ = 471,244 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 797,335 \sin 41^\circ = 523,052 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 53,770 \sin 41^\circ = 35,273 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T &= W_{\text{tot}} \sin \alpha \\ &= 375,240 \sin 41^\circ = 246,157 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$T = 0,000 \text{ kN}$$

4. Menghitung momen yang menahan bidang longsor, yaitu :

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 718,359 \cos 41^\circ = 542,361 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 797,335 \cos 41^\circ = 601,988 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 53,770 \cos 41^\circ = 40,596 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} N &= W_{\text{tot}} \cos \alpha \\ &= 375,240 \cos 41^\circ = 283,306 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$N = 0,000 \text{ kN}$$

5. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

6. Prosedur perhitungan di atas diulang sampai semua pias yang ada pada bidang longsor, selanjutnya nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum C \cdot L + (N - U)\tan \theta}{\sum T}$$

$$= \frac{139,683 + 15681,295}{4580,519} = 3,454$$

❖ Pada hulu bendungan saat kondisi penurunan muka air tiba-tiba (*Rapid drawdown*) dengan beban gempa.

❖ Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 419,479 = 171,986 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 364,474 = 149,434 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 583,558 = 239,259 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 507,038 = 207,886 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 351,083 = 143,944 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 305,047 = 125,069 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,25} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 170,026 = 69,711 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,410 \cdot 147,731 = 60,570 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 20,294 = 8,321 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 17,633 = 7,230 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\bullet \text{ C . L} = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\bullet \text{ C . L} = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{194,561 + 14015,070}{3148,011 + 8251,293} = 1,247 \end{aligned}$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 419,479 = 142,623 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 364,474 = 123,921 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 583,558 = 198,410 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 507,038 = 172,393 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 351,083 = 119,368 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 305,047 = 103,716 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 170,026 = 57,809 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 147,731 = 50,229 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,50} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,340 \cdot 20,294 = 6,900 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,50} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,340 \cdot 17,633 = 5,995 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di

hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{194,561 + 14158,319}{3148,011 + 6842,536} = 1,437 \end{aligned}$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 419,479 = 130,038 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 364,474 = 112,987 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 583,558 = 180,903 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 507,038 = 157,182 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 351,083 = 108,836 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 305,047 = 94,564 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 170,026 = 52,708 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 147,731 = 45,797 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 20,294 = 6,291 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 17,633 = 5,466 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14219,712}{3148,011 + 6238,783} = 1,536$$

❖ **Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 419,479 = 117,454 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 364,474 = 102,053 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 583,558 = 163,396 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 507,038 = 141,971 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 351,083 = 98,303 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 305,047 = 85,413 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 170,026 = 47,607 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 147,731 = 41,365 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 20,294 = 5,682 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 17,633 = 4,937 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14281,105}{3148,011 + 55635,030} = 1,648$$

❖ Pada hilir bendungan saat kondisi penurunan muka air tiba-tiba (*Rapid drawdown*) dengan beban gempa.

❖ Koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,25} = 0,410$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 542,361 = 222,368 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 471,244 = 193,210 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 601,988 = 246,815 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 523,052 = 214,451 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 40,596 = 16,645 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 35,273 = 14,462 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 283,306 = 116,156 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 246,157 = 100,925 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,25} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,25} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,410 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 14693,746}{4580,519 + 7527,872} = 1,225$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,50} = 0,340$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 542,361 = 184,403 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 471,244 = 160,223 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 601,988 = 204,676 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 523,052 = 177,838 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 40,596 = 13,803 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 35,273 = 11,993 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 283,306 = 96,324 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 246,157 = 83,694 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{0,50} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,50} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,340 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 14926,486}{4580,519 + 6242,625} = 1,392$$

❖ **Koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{0,75} = 0,310$.

- a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 542,361 = 168,132 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 471,244 = 146,086 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 601,988 = 186,616 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 523,052 = 162,146 \text{ kN}$$

- c. Zona Transisi

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 40,596 = 12,585 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 35,273 = 10,935 \text{ kN}$$

- d. Zona Random

$$T_e = K_{0,75} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 283,306 = 87,825 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,75} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,310 \cdot 246,157 = 76,309 \text{ kN}$$

- e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K_{0,75} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{0,75} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,310 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)} \\ &= \frac{139,683 + 15026,231}{4580,519 + 5691,805} = 1,476 \end{aligned}$$

❖ **Koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa $K_{1,00} = 0,280$.

- a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 542,361 = 151,861 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 471,244 = 131,948 \text{ kN} \end{aligned}$$

- b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 601,988 = 168,557 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 523,052 = 146,454 \text{ kN} \end{aligned}$$

- c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K_{1,00} \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,280 \cdot 40,596 = 11,367 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K_{1,00} \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,280 \cdot 35,273 = 9,876 \text{ kN} \end{aligned}$$

- d. Zona Random

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 283,306 = 79,326 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 246,157 = 68,924 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K_{1,00} \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{1,00} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,280 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 15125,977}{4580,519 + 5140,986} = 1,570$$

4.7.3 Analisis Stabilitas Bendungan Urugan Akibat Beban Gempa Cara Koefisien Gempa Terkoreksi.

Berdasarkan Peta Zona Gempa Indonesia Sebagai Acuan Dasar Perencanaan Dan Perancangan Bangunan yang diterbitkan oleh Puslitbang Sumber Daya Air, Balitbang Pekerjaan Umum 2004, besarnya koefisien gempa di lokasi rencana Waduk Seulimeum dihitung untuk mengetahui stabilitas lereng bendungan dengan beban gempa, terlebih dahulu dihitung nilai koefisien gempa, yaitu :

- Zona gempa : Zona E dengan koefisien gempa $z = 1,20$
- Jenis batuan dasar : batuan, periode dominan $T_s < 0,35$
faktor koreksi $v = 1,00$

penentuan kelas bangunan dan beban gempa sebagai berikut :

- Kapasitas waduk = 31,545 juta m^3 $FR_k = 4$
- Tinggi bendungan = 30 m $FR_t = 4$
- Kebutuhan evakuasi = > 1000 orang $FR_e = 12$
- Tingkat bahaya hilir = sangat tinggi $FR_h = 12$

$$FR_{tot} = FR_k + FR_t + FR_e + FR_h$$

$$= 4 + 4 + 12 + 12 = 30$$

Dari hasil perhitungan faktor risiko total (bobot) = 30, maka kelas risiko Bendungan Seulimeum termasuk kelas III (tinggi). Sehingga analisis menggunakan gempa desain maksimum (*Maximum Design Earthquake*, MDE) $T = 5000$ dengan persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan.

$$A_d = Z \cdot A_c \cdot v$$

dimana,

k = koefisien gempa

A_d = percepatan gempa terkoreksi (gal)

g = percepatan gravitasi (981 cm/dt^2)

Z = koefisien zona gempa berdasar peta zonasi gempa Indonesia

A_c = percepatan gempa dasar (gal)

v = faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

perhitungan percepatan gempa terkoreksi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_d &= Z \cdot A_c \cdot v \\ &= 1,20 \cdot 330 \cdot 1 \\ &= 396 \end{aligned}$$

Dalam metode analisis ini, percepatan gempa dari dasar sampai dengan puncak bendungan dianggap sama.

$$K_h = \frac{a_d}{g}$$

$$K = K_h \cdot \alpha_1$$

Dimana :

K = koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas

K_h = koefisien gempa dasar yang tergantung pada periode ulang T

a_d = percepatan gempa maksimum yang terkoreksi di permukaan tanah (gal)

g = gravitasi (981 cm/dt^2)

α_1 = koreksi pengaruh daerah bebas (*freefield*), untuk bendungan tipe urugan (0,70)

perhitungan koefisien gempa terkoreksi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_h &= \frac{A_d}{g} \\ &= \frac{396}{981} \\ &= 0,404 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= K_h \cdot \alpha_1 \\ &= 0,404 \cdot 0,7 = 0,283 \end{aligned}$$

❖ **Pada hulu bendungan saat kondisi kosong dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 353,451 = 100,027 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 307,104 = 86,910 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 575,278 = 162,804 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 499,844 = 141,456 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 350,549 = 99,205 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 304,583 = 86,197 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 112,616 = 31,870 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 97,849 = 27,691 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 20,294 = 5,743 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 17,633 = 4,990 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran ($C \cdot L$) yaitu :

$$\bullet \quad C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 719,029 \text{ kN}$$

$$\bullet \quad C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 253,775 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{972,803 + 14660,965}{3101,332 + 5335,156} = 1,853$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi kosong dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 534,451 = 151,250 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 464,370 = 131,417 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 601,988 = 170,363 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 523,052 = 148,024 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 40,596 = 11,489 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 35,273 = 9,982 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 283,306 = 80,176 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 246,157 = 69,663 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 50 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 698,415 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{698,415 + 14946,322}{4570,057 + 5193,035} = 1,602$$

❖ **Pada hulu bendungan saat kondisi NWL (*Normal Water Level*) dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

- a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 419,102 = 118,606 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,41 \cdot 364,147 = 103,054 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 595,556 = 168,542 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 517,463 = 146,442 \text{ kN}$$

- c. Zona Transisi

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 358,999 = 101,597 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 311,925 = 88,275 \text{ kN}$$

- d. Zona Random

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 169,180 = 47,878 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 146,996 = 41,600 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 20,294 = 5,743 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 17,633 = 4,990 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14583,196}{2640,925 + 5813,380} = 1,748$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi NWL (*Normal Water Level*) dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 542,361 = 153,488 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 471,244 = 133,362 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 601,988 = 170,363 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 523,052 = 148,024 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 40,596 = 11,489 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 35,273 = 9,982 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 283,306 = 80,176 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 246,157 = 69,663 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 15116,002}{4580,519 + 5196,068} = 1,560$$

❖ **Pada hulu bendungan saat kondisi FWL (*Flood Water Level*) dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 422,128 = 119,462 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 366,776 = 103,798 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 601,556 = 170,240 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 522,677 = 147,917 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 364,984 = 103,291 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 317,125 = 89,747 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 173,443 = 49,084 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 150,700 = 42,648 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 20,294 = 5,743 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 17,633 = 4,990 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C . L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14301,069}{2414,153 + 5847,264} = 1,755$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi FWL (Flood Water Level) dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 555,775 = 157,284 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 482,899 = 136,660 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 601,988 = 170,363 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 523,052 = 148,024 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 40,596 = 11,489 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 35,273 = 9,982 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 283,306 = 80,176 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 246,157 = 69,663 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 15124,383}{4606,229 + 5202,973} = 1,556$$

❖ Pada hulu bendungan saat kondisi LWL (*Low Water Level*) dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

a. Zona Inti (*core*)

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 402,481 = 113,902 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 349,705 = 98,967 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Zona Filter

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 583,558 = 165,147 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 507,038 = 143,492 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Zona Transisi

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 351,083 = 99,356 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 305,047 = 86,328 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Zona Random

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 170,026 = 48,117 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 147,731 = 41,808 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Rip-rap

$$\begin{aligned} T_e &= K \cdot W \cos \alpha \\ &= 0,283 \cdot 20,294 = 5,743 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_e &= K \cdot W \sin \alpha \\ &= 0,283 \cdot 17,633 = 4,990 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran ($C \cdot L$) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14957,554}{3129,128 + 5689,740} = 1,718$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi LWL (*Low Water Level*) dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 534,451 = 151,250 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 464,370 = 131,417 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 601,988 = 170,363 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 523,052 = 148,024 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 40,596 = 11,489 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 35,273 = 9,982 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

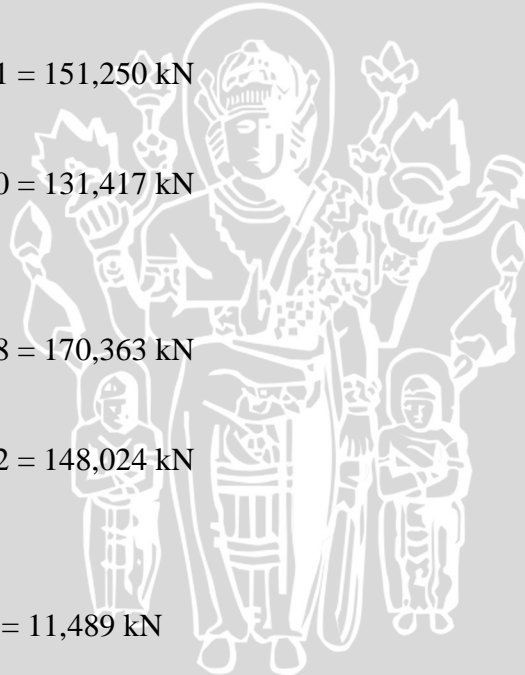
$$= 0,283 \cdot 283,306 = 80,176 \text{ kN}$$

$$N_e = K_{0,25} \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 246,157 = 69,663 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$



$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 15112,388}{4570,057 + 5193,035} = 1,562$$

❖ **Pada hulu bendungan saat kondisi penurunan muka air tiba-tiba (*Rapid drawdown*) dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

- a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 419,479 = 118,712 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 364,474 = 103,146 \text{ kN}$$

- b. Zona Filter

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 583,558 = 165,147 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 507,038 = 143,492 \text{ kN}$$

- c. Zona Transisi

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 351,083 = 99,356 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 305,047 = 86,328 \text{ kN}$$

- d. Zona Random

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 170,026 = 48,117 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 147,731 = 41,808 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 20,294 = 5,743 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 17,633 = 4,990 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{17^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 143,806 \text{ kN}$$

$$\diamond C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{6^\circ}{360^\circ} \cdot 48,492 \cdot 2 \cdot 3,14 = 50,755 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{194,561 + 14274,965}{3148,011 + 5695,405} = 1,636$$

❖ **Pada hilir bendungan saat kondisi penurunan muka air tiba-tiba (*Rapid drawdown*) dengan beban gempa cara koefisien gempa terkoreksi.**

1. Dari hasil hitungan gaya berat pada kondisi tanpa gempa diatas (Pias 2), kemudian dilanjutkan dengan menghitung komponen vertikal (N_e) dan tangensial (T_e) beban seismis tiap zona material dengan nilai koefisien gempa terkoreksi $K = 0,283$.

a. Zona Inti (*core*)

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 542,361 = 153,488 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 471,244 = 133,362 \text{ kN}$$

b. Zona Filter

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 601,988 = 170,363 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 523,052 = 148,024 \text{ kN}$$

c. Zona Transisi

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 40,596 = 11,489 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 35,273 = 9,982 \text{ kN}$$

d. Zona Random

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 283,306 = 80,176 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 246,157 = 69,663 \text{ kN}$$

e. Rip-rap

$$T_e = K \cdot W \cos \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

$$N_e = K \cdot W \sin \alpha$$

$$= 0,283 \cdot 0,000 = 0,000 \text{ kN}$$

2. Menghitung kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran (C . L) yaitu :

$$C \cdot L = c \cdot \frac{\theta_c}{360^\circ} \cdot R \cdot 2 \cdot 3,14 = 10 \cdot \frac{14^\circ}{360^\circ} \cdot 57,195 \cdot 2 \cdot 3,14 = 139,683 \text{ kN}$$

3. Perhitungan diatas diulang sampai semua pias yang membentuk bidang longsor di hitung, lalu nilai F_s dihitung :

$$F_s = \frac{\sum (C L + (N - U - N_e) \tan \theta)}{\sum (T + T_e)}$$

$$= \frac{139,683 + 15116,002}{4580,519 + 5196,068} = 1,560$$

Tabel 4.11 Rekapitulasi hasil analisa stabilitas lereng tanpa beban gempa
Tanpa Beban Gempa

No.	Kondisi	FS Ijin	FS Hitung		Status
			Hulu	Hilir	
1.	Setelah Kontruksi (Empty)	1,300	5,208	3,533	Aman
2.	FWL (Flood Water Level)	1,300	6,255	3,437	Aman
3.	NWL (Normal Water Level)	1,500	5,824	3,454	Aman
4.	LWL (Low Water Level)	1,300	5,027	3,461	Aman
5.	Surut Cepat (Rapid drawdown)	1,300	4,999	3,454	Aman

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.12 Rekapitulasi hasil analisa stabilitas lereng dengan beban gempa koefisien gempa termodifikasi
Dengan Beban Gempa Cara Koefisien Termodifikasi T = 5000 Tahun

No.	Kondisi	FS Ijin	FS Hitung					Status			
			Hulu		Hilir						
			$\tau/H = 0,2$	$Y/H = 0,50$	$\tau/H = 0,7/H = 1,0$	$Y/H = 0,25$	$Y/H = 0,50$		$Y/H = 0,75$	$Y/H = 1,00$	
$K = 0,410$ $K = 0,340$ $\tau = 0,310$ $\tau = 0,28$ $K = 0,410$ $K = 0,340$ $K = 0,310$ $K = 0,280$											
1.	Setelah Kontruksi (Empty)	1,200	1,422	1,633	1,742	1,869	1,261	1,431	1,517	1,612	Aman
2.	FWL (Flood Water Level)	1,200	1,306	1,522	1,637	1,768	1,222	1,388	1,472	1,566	Aman
3.	NWL (Normal Water Level)	1,200	1,311	1,523	1,634	1,762	1,225	1,392	1,476	1,570	Aman
4.	LWL (Low Water Level)	1,200	1,310	1,509	1,613	1,731	1,226	1,394	1,478	1,572	Aman
5.	Surut Cepat (Rapid drawdown)	1,200	1,247	1,437	1,536	1,648	1,225	1,392	1,476	1,570	Aman

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.13 Rekapitulasi hasil analisa stabilitas lereng dengan beban gempa koefisien gempa terkorreksi
Dengan Beban Gempa Cara Koefisien Gempa Terkorreksi T = 5000 Tahun

No.	Kondisi	FS Ijin	FS Hitung K = 0,283		Status
			Hulu	Hilir	
1.	Setelah Kontruksi (Empty)	1,200	1,853	1,602	Aman
2.	FWL (Flood Water Level)	1,200	1,755	1,556	Aman
3.	NWL (Normal Water Level)	1,200	1,748	1,560	Aman
4.	LWL (Low Water Level)	1,200	1,718	1,562	Aman
5.	Surut Cepat (Rapid drawdown)	1,200	1,636	1,560	Aman

Sumber : Hasil Perhitungan

4.7.4. Analisis Dengan Pertimbangan *Operating Basis Earthquake* (OBE) Menggunakan Peta Gempa 2010 dan 2004.

- ❖ Koefisien gempa terkoreksi berdasarkan peta gempa 2010 untuk $T = 100$ tahun

Letak rencana Bendungan Seulimeum berdasarkan peta gempa 2010 dengan kala ulang gempa $T = 100$ tahun pada percepatan gempa dasar $S_B = 0,30 - 0,40$ g, untuk perhitungan digunakan nilai $S_B = 0,40$ g.

Tabel 4.14 Faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) (ASCEC 7-10)

Klasifikasi Site	S_{PGA}				
	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$
Batuan Keras (S_A)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (S_B)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah sangat padat dan batuan lunak (S_C)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (S_D)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (S_E)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (S_F)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber : Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, hal 18

Dari fondasi batuan (S_B) pada Tabel 4.11 didapatkan nilai $F_{PGA} = 1,0$. Jadi besarnya percepatan puncak di permukaan tanah adalah :

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_B = 1,0 \times 0,40 = 0,40 \text{ g}$$

$$K_0 = PGA_M / g = 0,40 \times 0,981 / 0,981 = 0,40$$

$$K = K_0 \times \alpha = 0,40 \times 0,50 = 0,200$$

Tabel 4.15 Rekapitulasi hasil analisa stabilitas lereng gempa desain OBE peta 2010 Dengan Beban Gempa Cara Koefisien Gempa Terkoreksi $T = 100$ Tahun

No.	Kondisi	FS Ijin	FS Hitung $K = 0,200$		Status
			Hulu	Hilir	
1.	Setelah Kontruksi (<i>Empty</i>)	1,200	2,297	1,930	Aman
2.	FWL (<i>Flood Water Level</i>)	1,200	2,242	1,876	Aman
3.	NWL (<i>Normal Water Level</i>)	1,200	2,216	1,882	Aman
4.	LWL (<i>Low Water Level</i>)	1,200	2,143	1,884	Aman
5.	Surut Cepat (<i>Rapid drawdown</i>)	1,200	2,041	1,882	Aman

Sumber : Hasil perhitungan

- ❖ Koefisien gempa terkoreksi berdasarkan peta gempa 2004 untuk $T = 100$ tahun

Berdasarkan Peta Zona Gempa Indonesia Sebagai Acuan Dasar Perencanaan Dan Perancangan Bangunan yang diterbitkan oleh Puslitbang Sumber Daya Air, Balitbang Pekerjaan Umum 2004, besarnya koefisien gempa di lokasi rencana Waduk Seulimeum dihitung untuk mengetahui stabilitas lereng bendungan dengan beban gempa, terlebih dahulu dihitung nilai koefisien gempa, yaitu :

- Zona gempa : Zona E dengan koefisien gempa $z = 1,20$
- Jenis batuan dasar : batuan, periode dominan $T_s < 0,35$
faktor koreksi $v = 1,00$

Sehingga analisis menggunakan gempa desain maksimum (*Operating Basis Earthquake*, OBE) $T = 100$ dengan persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan.

$$\begin{aligned} A_d &= Z \cdot A_c \cdot v \\ &= 1,20 \cdot 190 \cdot 1 \\ &= 228 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_h &= \frac{A_d}{g} \\ &= \frac{228}{981} \\ &= 0,232 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= K_h \cdot \alpha_1 \\ &= 0,232 \cdot 0,7 = 0,162 \end{aligned}$$

Tabel 4.16 Rekapitulasi hasil analisa stabilitas lereng gempa desain OBE peta 2004 Dengan Beban Gempa Cara Koefisien Gempa Terkoreksi $T = 100$ Tahun

No.	Kondisi	FS Ijin	FS Hitung $K = 0,162$		Status
			Hulu	Hilir	
1.	Setelah Kontruksi (<i>Empty</i>)	1,200	2,576	2,124	Aman
2.	FWL (<i>Flood Water Level</i>)	1,200	2,562	2,066	Aman
3.	NWL (<i>Normal Water Level</i>)	1,200	2,519	2,073	Aman
4.	LWL (<i>Low Water Level</i>)	1,200	2,411	2,075	Aman
5.	Surut Cepat (<i>Rapid drawdown</i>)	1,200	2,297	2,073	Aman

Sumber : Hasil perhitungan