

Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Bendung Kamijoro

The Analysis of Retaining Wall Stability of Kamijoro Dam

Davit Maulana, Puji Harsanto, Anita Widianti

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak.

Proyek Pembangunan Bendung Kamijoro berlokasi di Dusun Kamijoro, Desa Sendang Sari, Pajangan, Bantul, DI Yogyakarta. Proyek ini bertujuan untuk meningkatkan kuantitas air pada daerah tersebut karena bertambahnya jumlah kebutuhan air baku dan irigasi. Salah satu struktur bangunannya adalah dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah adalah bangunan yang berfungsi menstabilkan tanah pada kondisi tanah tertentu khususnya untuk areal lereng alam dan lereng buatan. Pada penelitian ini dilakukan analisis stabilitas dinding penahan tanah menggunakan perhitungan secara manual dan menggunakan *software Geo 5*, untuk membandingkan hasil analisisnya. Sehingga didapatkan hasil analisis yang lebih baik. Data diperoleh dari proyek Bendung Kamijoro yang meliputi data tanah dan data perencanaan dinding penahan tanah. Berdasarkan analisis menggunakan perhitungan secara manual pada bagian hulu didapatkan hasil stabilitas guling = 7,691; geser = 6,81 dan daya dukung tanah = 7,819. Pada bagian kolam olak didapatkan hasil stabilitas guling = 7,258; geser = 4,373 dan daya dukung tanah = 5,57. Pada bagian hilir didapatkan hasil stabilitas guling = 7,501; geser = 6,038 dan daya dukung tanah = 7,77. Berdasarkan analisis menggunakan *software Geo 5* pada bagian hulu didapatkan hasil stabilitas guling = 4,97; geser = 2,904 dan daya dukung tanah = 119,28. Pada bagian kolam olak didapatkan hasil stabilitas guling = 5,36; geser = 2,359 dan daya dukung tanah = 121,52. Pada bagian hilir didapatkan hasil stabilitas guling = 5,09; geser = 2,439 dan daya dukung tanah = 117,39. Disimpulkan bahwa dinding penahan tanah aman terhadap stabilitas guling, geser, daya dukung tanah, berdasarkan analisis perhitungan secara manual dan *software Geo 5*.

Kata-kata kunci: Dinding penahan tanah, analisis stabilitas, *software Geo 5*

Abstract.

The Kamijoro Dam Construction Project is located in Dusun Kamijoro, Sendang Sari, Pajangan, Bantul, DI Yogyakarta. The project aims to increase the quantity of water in the area due to the increasing amount of raw water and irrigation needs. One of the structure is retaining wall. Retaining wall is a building that serves to stabilize the soil in certain soil conditions, especially for natural slope and artificial slopes. In this research, stabilities analysis of retaining wall are calculated using manual method and *Geo 5* software, to compare results of the analysis. So that the results of a better analysis are obtained. The data were obtained from the Kamijoro Dam project which includes soil data and retaining wall planning data. Based on the analysis using manual calculation in the upstream results of stability overturning = 7,691; slip = 6,81 and soil bearing capacity = 7,819. In the stilling basin obtained stability results overturning = 7,258; slip = 4,373 and soil bearing capacity = 5,57. In the downstream section stability overturning = 7,501; slip = 6,038 and soil bearing capacity = 7,77. Based on the analysis using *Geo 5* software on the upstream stability overturning = 4,97; slip = 2,904 and soil bearing capacity = 119,28. In the stilling basin obtained results stability overturning = 5,36; slip = 2,359 and soil bearing capacity = 121,52. In the downstream section result of stability overturning = 5,09; slip = 2,439 and soil bearing capacity = 117,39. It was concluded that the retaining walls are safe against overturning, slip, soil bearing capacity, based on using manual and *Geo 5* software.

Keywords: retaining wall, stability analysis, *Geo 5* software

1. Pendahuluan

Proyek Pembangunan Bendung Kamijoro berlokasi di Dusun Kamijoro, Desa Sendang Sari, Pajangan, Bantul, DI Yogyakarta. Lokasi pembangunan proyek berada pada daerah Sungai Progo. Salah satu

bangunan yang akan dibangun dalam proyek ini ialah dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah adalah bangunan yang berfungsi menstabilkan tanah pada kondisi tanah tertentu khususnya untuk areal lereng

alam dan lereng buatan. Perancangan dinding penahan tanah harus memenuhi dua persyaratan yaitu tekanan di bawah dinding tidak boleh melebihi tekanan tanah yang diizinkan, dan struktur harus memiliki faktor aman terhadap penggulingan dan penggeseran. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis stabilitas dinding penahan tanah dengan perhitungan manual dan menggunakan program *Geo 5*.

Menurut Setiawan (2011), dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang dibangun untuk menahan tanah atau mencegah keruntuhan tanah yang curam atau lereng yang dibangun di tempat yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng itu sendiri, serta untuk mendapatkan bidang yang tegak. Dinding penahan tanah yang digunakan harus stabil terhadap pergeseran, penggulingan, dan keruntuhan kapasitas daya dukung tanah. Nilai faktor aman terhadap penggulingan minimum 2, terhadap pergeseran minimum 1,5 dan terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung hasilnya harus lebih atau sama dengan 3. Hal itu menjadi ketentuan dan acuan agar stabilitas dinding penahan tanah dikatakan aman dalam segala kondisi (Muhyamin, 2016).

Handayani dkk. (2014) menyatakan bahwa menghitung stabilitas dinding penahan tanah sekarang lebih mudah dengan adanya *software Geo 5*. Hasil perhitungan stabilitas dengan *software Geo 5* akan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan metode manual. *Geo 5* memudahkan perencana dalam mendesain dinding penahan tanah dan analisis bangunan geoteknik yang lain yang akan dibuat.

Dalam studi ini, analisis dilakukan dengan perhitungan secara manual dan dengan *software Geo 5* untuk mengetahui stabilitas guling, stabilitas geser tanah dan daya dukung tanah untuk dinding penahan tanah. Hal ini, dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis stabilitas yang seakurat mungkin.

2. Landasan Teori

Dinding penahan Tanah

Menurut Nur dan Hakam (2010) dinding penahan tanah adalah suatu

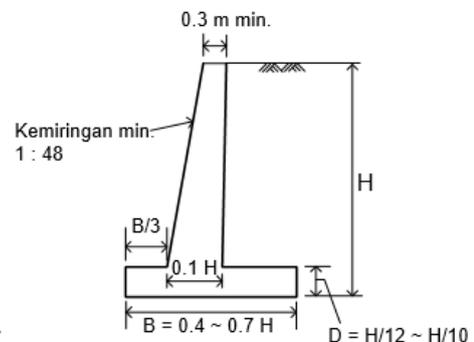
bangunan yang berfungsi untuk menstabilkan kondisi tanah tertentu, yang pada umumnya dipasang pada daerah tebing yang labil. Dinding penahan tanah merupakan suatu struktur yang direncanakan dan dibangun untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil, sehingga dinding penahan tanah aman terhadap pergeseran, penggulingan dan keruntuhan kapasitas dukung tanah.

Jenis-Jenis Dinding Penahan Tanah

Menurut Syofyan dan Frizaldi (2017), dinding penahan tanah (*retaining wall*) dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

a. Dinding penahan gravitasi

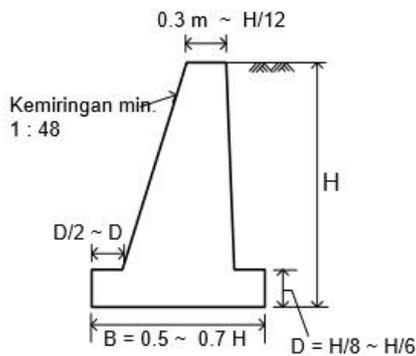
Dinding penahan tanah ini biasanya dibuat dari beton murni (tanpa tulangan) atau dari pasangan batu kali, walaupun kadang beberapa dibuat dengan beton bertulang namun dengan tulangan yang sedikit. Penggunaan dinding penahan ini biasanya untuk menahan tanah pada lereng yang terlalu tinggi dan pada tepi sungai. Biasanya tinggi dinding penahan tanah ini kurang dari 6 meter.



Gambar 1 Dinding penahan gravitasi (Muhyamin, 2016)

b. Dinding penahan kantilever

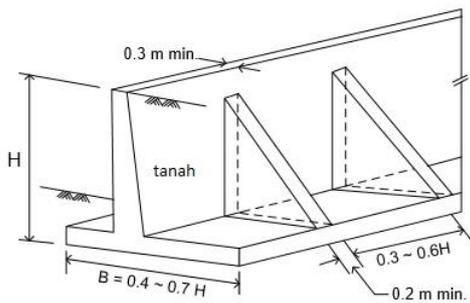
Dinding penahan tanah kantilever dibuat dari beton bertulang yang tersusun dari suatu dinding vertikal dan tapak lantai. Masing-masing berperan sebagai balok atau pelat kantilever. Biasanya ketinggian dinding ini tidak lebih dari 6-7 meter.



Gambar 2 Dinding penahan kantilever (Muhyamin, 2016)

c. Dinding penahan counterfort

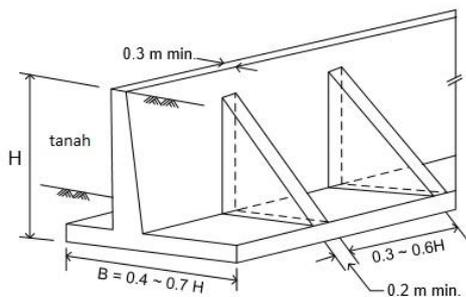
Apabila tekanan tanah aktif pada dinding vertikal cukup besar, maka bagian dinding vertikal dan tumit perlu disatukan. Counterfort berfungsi sebagai pengikat tarik dinding vertikal dan ditempatkan pada bagian timbunan dengan interval jarak tertentu. Dinding counterfort digunakan bila ketinggian lebih dari 7 meter.



Gambar 3 Dinding penahan counterfort (Muhyamin, 2016)

d. Dinding penahan butters

Dinding butters hampir sama dengan dinding counterfort, hanya bedanya bagian counterfort diletakkan di depan dinding. Dalam hal ini, struktur counterfort berfungsi memikul tegangan tekan. Dinding ini untuk ketinggian lebih dari 7 meter.



Gambar 4 Dinding penahan butters (Muhyamin, 2016)

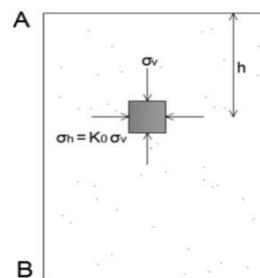
Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral merupakan parameter utama dalam perancangan dinding penahan tanah. Akibatnya, perkiraan detail dari gaya lateral yang bekerja pada berbagai dinding penahan hanyalah suatu masalah teoritis dalam mekanika tanah (Muntohar, 2006). Pada prinsipnya kondisi tanah dalam kedudukannya ada 3 yaitu:

- Dalam keadaan diam (K_0).
- Dalam keadaan aktif (K_a).
- Dalam keadaan pasif (K_p).

Tekanan Tanah dalam Keadaan Diam

Pada gambar di bawah tanah dibatasi oleh dinding dengan permukaan licin AB yang dipasang sampai kedalaman tak terhingga. Suatu elemen tanah yang terletak pada kedalaman z akan mendapat tekanan arah vertikal σ_v dan tekanan arah horisontal σ_h , dimana σ_v dan σ_h merupakan tekanan efektif dan tekanan total tanah. Apabila dinding AB dalam keadaan diam, maka tanah akan berada dalam keadaan keseimbangan statis (*static equilibrium*). Rasio tekanan arah horisontal dan vertikal disebut koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (*coefficient of earth pressure at rest*) K_0 (Hardiyatmo, 2010).



Gambar 5 Tekanan tanah dalam keadaan diam (Hardiyatmo, 2010)

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \dots\dots\dots (1)$$

Karena $\sigma_v = \gamma z$ maka tekanan lateral horisontal saat diam adalah:

$$\sigma_h = K_0 (\gamma z) \dots\dots\dots (2)$$

$$P_0 = \frac{1}{2} K_0 \cdot \gamma \cdot H^2 \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

σ_h = tekanan tanah horisontal saat diam (kN/m),

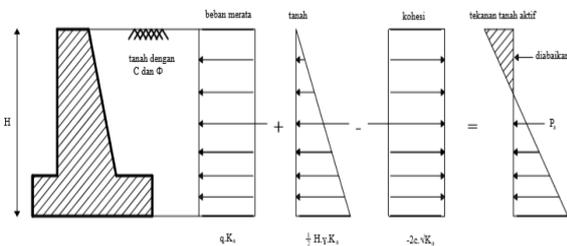
σ_v = tekanan tanah vertikal saat diam (kN/m),

K_0 = koefisien tekanan tanah saat diam,

γ = berat volume tanah (kN/m³),
H = tinggi dinding (m),
z = kedalaman dinding (m).

Tekanan Tanah Aktif

Kondisi tekanan tanah aktif merupakan kondisi dimana dinding bergerak menjauhi bagian tanah timbunan atau timbul apabila dinding penahan tanah bagian atas bergerak relatif ke depan terhadap dasarnya. Sedangkan nilai banding tekanan horisontal dan tekanan vertikal terjadi, didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif (Putra dkk., 2010).



Gambar 6 Distribusi tekanan tanah aktif pada dinding penahan tanah (Sugianti, 2013)

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \dots\dots\dots (4)$$

Dimana harga K_a untuk tanah datar adalah

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2}) \dots\dots\dots (5)$$

Besarnya tekanan tanah aktif yang memiliki nilai kohesi, dinyatakan oleh:

$$P_a = -2c \times \sqrt{K_a} \times H^2 \dots\dots\dots (6)$$

Akibat adanya beban merata dinyatakan oleh persamaan:

$$P_a = q \times K_a \times H \dots\dots\dots (7)$$

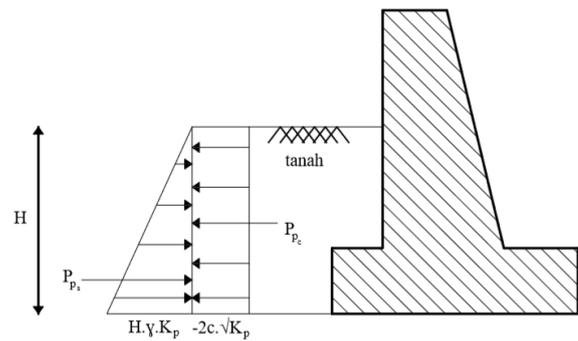
dengan:

- P_a = tekanan tanah aktif (kN/m),
- K_a = koefisien tekanan tanah aktif,
- γ = berat volume tanah (kN/m³),
- H = tinggi dinding (m),
- c = kohesi tanah (kN/m²),
- ϕ = sudut gesek tanah (°).

Tekanan Tanah Pasif

Berlawanan dengan terjadinya tekanan tanah aktif, pada tekanan tanah pasif, kondisi tekanan tanah bekerja pada dinding akan bertambah dari kondisi seimbang sampai suatu harga maksimum yang mungkin. Tekanan tanah lateral maksimum mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menekan tanah

disebut tekanan tanah pasif (Kalalo dkk., 2017).



Gambar 7 Tekanan tanah pasif (Pradana dkk., 2017)

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \dots\dots\dots (8)$$

Tekanan tanah pasif akibat adanya kohesi:

$$P_p = -2c \sqrt{K_p} \times H \dots\dots\dots (9)$$

Dimana harga K_p untuk tanah datar adalah

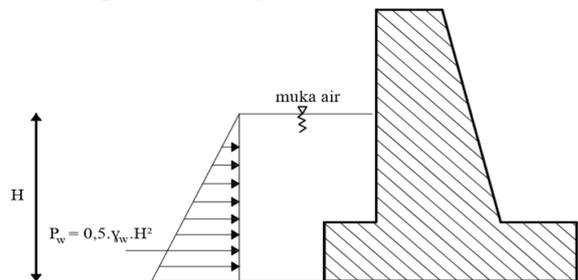
$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 (45^\circ + \frac{\phi}{2}) \dots\dots\dots (10)$$

dengan:

- P_p = tekanan tanah pasif (kN/m),
- K_p = koefisien tekanan tanah pasif,
- γ = berat volume tanah (kN/m³),
- H = tinggi dinding (m),
- c = kohesi tanah (kN/m²),
- ϕ = sudut gesek internal tanah (°).

Tekanan Air

Gaya tekan air atau gaya hidrostatis adalah gaya horizontal akibat air di hulu dan hilir bendung. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan (Kusnan, 2017).



Gambar 8 Tekanan air pada dinding (Chairullah, 2013)

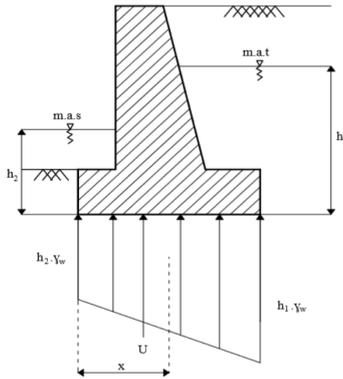
$$P_w = 0,5 H^2 \gamma_w \dots\dots\dots (11)$$

dengan:

- P_w = tekanan air (kN),
- H = ketinggian (m),
- γ_w = berat volume air (kN/m³).

Tekanan Angkat (Uplift)

Pada konstruksi-konstruksi di daerah yang tergenang air (pilar jembatan dan lain-lain) atau muka air tanah yang tinggi, akan terjadi tekanan hidrostatis yang mengurangi besarnya angka faktor keamanan (SF). Tekanan air akan mempengaruhi gaya vertikal dan menyebabkan tahanan terhadap guling semakin kecil, sehingga kemungkinan terjadinya guling semakin tinggi (Chairullah, 2013).



Gambar 9 Pengaruh tekanan uplift (Chairullah, 2013)

$$U = 0,5 \times B \times h \times \gamma_w \dots\dots\dots (12)$$

dengan:

U = tekanan uplift (kN),

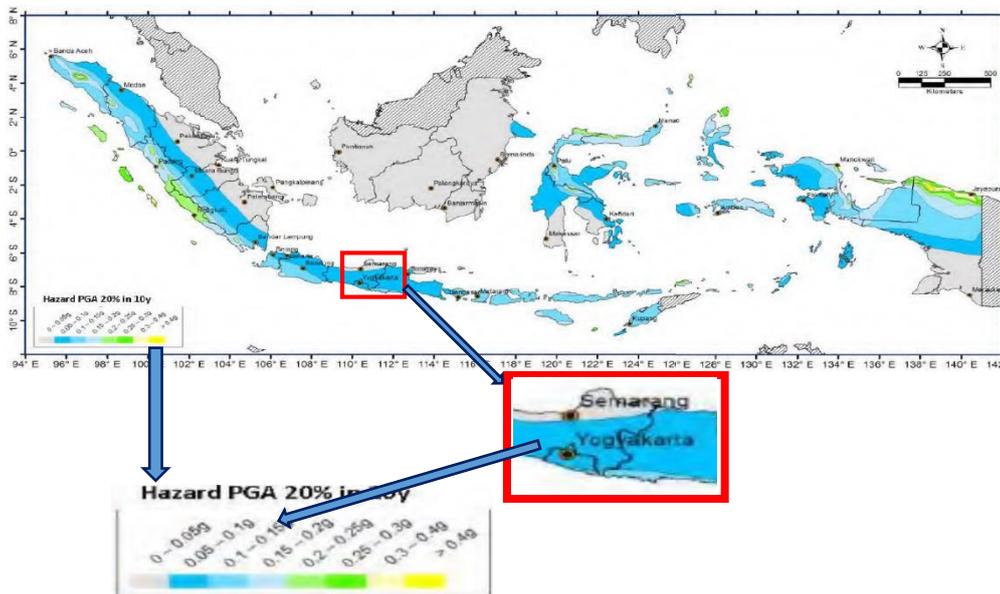
h = tinggi permukaan air (m),

γ_w = berat volume air (kN/m³).

Tekanan Akibat Gempa

Pada setiap konstruksi bangunan pasti selalu memperhitungkan adanya faktor gempa. Gaya gempa ditentukan oleh berat konstruksi itu sendiri dan juga ditentukan oleh koefisien gempa (Sugianti, 2013).

Gaya gempa memiliki suatu harga-harga yang didasarkan pada peta yang mengacu pada koefisien zona gempa Indonesia yang menunjukkan daerah dan resiko. Faktor minimum adalah 0,1 percepatan gravitasi yang dipertimbangkan untuk mengalikan dengan massa bangunan sebagai gaya horisontal menuju ke arah yang paling tidak aman pada struktur bangunannya (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013).



Gambar 10 Peta percepatan puncak batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 20% dalam 10 tahun (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Stabilitas Konstruksi

Dalam analisis stabilitas dinding penahan tanah terdapat beban yang diperhitungkan di dalamnya yaitu beban hidup, beban mati dan tekanan air (Abdurrozak dan Wibowo, 2016).

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan pada dinding penahan tanah, antara lain oleh faktor penggulingan, penggeseran dan keruntuhan pada daya dukung tanah. Dinding penahan tanah yang dibangun harus stabil terhadap

guling, geser, dan daya dukung tanah (Hyo dkk., 2016).

a. Stabilitas terhadap gaya guling

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urugan di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas plat pondasi (Mangroe, 2013). Faktor aman terhadap penggulingan (SF) didefinisikan sebagai berikut:

$$SF = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \geq 2 \dots\dots\dots (13)$$

dengan:

$\sum M_w$ = momen yang melawan guling,

$\sum M_{gl}$ = momen yang menyebabkan guling.

Dinding penahan tanah dikatakan aman terhadap gaya guling jika nilai $SF \geq 2$.

b. Stabilitas terhadap gaya geser

Gaya aktif tanah (Pa) selain menimbulkan terjadinya momen juga menimbulkan gaya dorong sehingga dinding akan bergeser. Bila dinding penahan tanah dalam keadaan stabil, maka gaya-gaya yang bekerja dalam keadaan seimbang ($\sum F = 0$ dan $\sum M = 0$). Perlawanan terhadap gaya dorong ini terjadi pada bidang kontak antara tanah dasar dinding penahan tanah dengan tanah dasar pondasi (Shahrbanozadeh, 2015).

$$SF = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \dots\dots\dots (14)$$

$$\sum R_h = c \cdot B + \sum W \cdot \tan \emptyset \dots\dots\dots (15)$$

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran,

$\sum P_h$ = jumlah tekanan gaya horisontal.

c = kohesi (kN/m^2),

B = lebar dasar pondasi (m),

$\sum W$ = jumlah gaya berat sendiri dinding penahan tanah (kN),

\emptyset = sudut gesek internal tanah ($^\circ$).

Dinding penahan tanah dikatakan aman terhadap gaya guling jika nilai $SF \geq 1,5$.

c. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan (Lebao dan Sulistyan, 2016). Kapasitas dukung ultimit dihitung dengan menggunakan rumus

Terzaghi, bila memakai data pengujian laboratorium:

$$q_{ult} = c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (16)$$

Kapasitas dukung ultimit neto (q_{un}) merupakan nilai intensitas dari beban fondasi neto, tanah akan mengalami keruntuhan geser, apabila:

$$q_{un} = q_{ult} - \gamma \times D_f \dots\dots\dots (17)$$

Tekanan pondasi neto untuk suatu fondasi pada kondisi tertentu ialah tambahan tekanan pada dasar pondasi, akibat adanya beban mati dan beban hidup dari struktur. Dinyatakan dalam persamaan:

$$q_n = q - \gamma \times D_f \dots\dots\dots (18)$$

Faktor aman terhadap suatu keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$SF = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{q_{ult} - \gamma \times D_f}{q - \gamma \times D_f} \geq 3 \dots\dots\dots (19)$$

dengan:

c = kohesi tanah (kN/m^2),

D_f = kedalaman dasar pondasi (m),

γ = berat volume tanah (kN/m^3),

B = lebar pondasi dinding penahan tanah (m),

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung Terzaghi ditentukan oleh besar sudut gesek internal tanah,

q = tekanan total pondasi (kN/m).

Software Geo 5

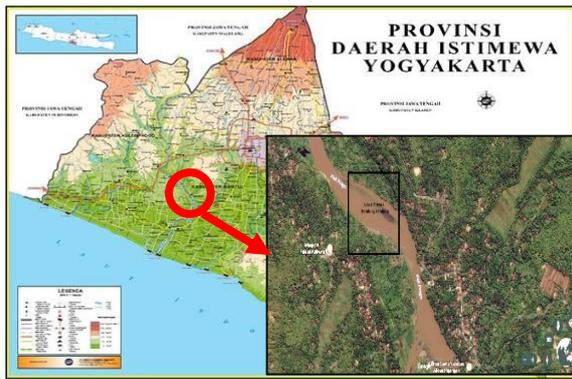
Software Geo 5 merupakan salah satu perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk bidang geoteknik dan lingkungan sebagai prinsip ilmu bumi untuk memecahkan masalah lingkungan yang berhubungan dengan tanah. *Software* ini menggunakan metode analisis data (Listyawan dkk., 2013).

Pada dasarnya program ini hanya mempermudah perencana untuk merancang dan mengetahui stabilitas dinding penahan tanah yang akan dibangun aman atau tidak, sehingga pada saat dibangun tidak ada kesalahan saat proses pembangunannya.

3. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

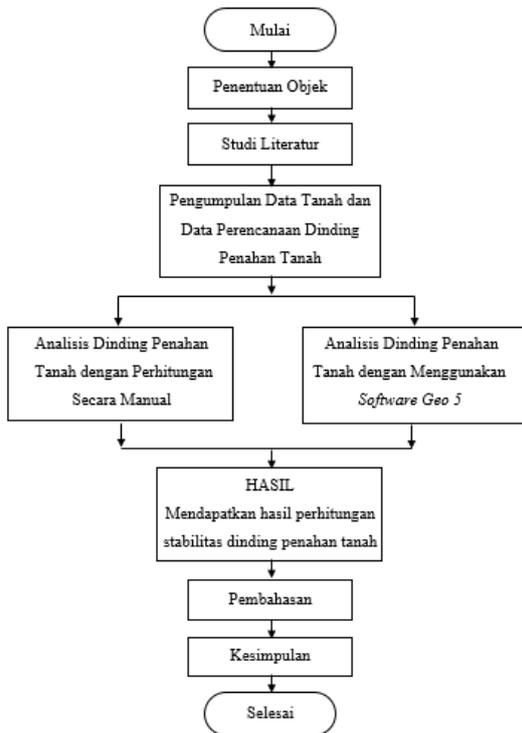
Penelitian ini dilakukan di Proyek Pembangunan Bendung Kamijoro di Dusun Kamijoro, Desa Sendang Sari, Pajangan, Bantul, DI Yogyakarta.



Gambar 12 Lokasi penelitian (Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak, 2014)

3. Tahap dan Prosedur Penelitian

Penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan tahapan seperti bagan alir pada Gambar 13.



Gambar 13 Bagan alir penelitian

Langkah-Langkah Perhitungan Secara Manual

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis stabilitas dinding penahan tanah dengan perhitungan secara manual adalah sebagai berikut:

1. Menghitung gaya tekan dan momen yang terjadi pada dinding penahan tanah akibat arah gaya vertikal dan gaya horisontal:

- a. Menghitung gaya tekan arah gaya vertikal yang terjadi pada dinding penahan tanah, berupa berat struktur dinding penahan tanah, berat tanah, beban merata, berat air dan gaya uplift.
 - b. Menghitung jarak lengan beban.
 - c. Menghitung momen terhadap ujung dinding penahan berdasarkan titik tumpuannya, dengan cara mengalikan hasil perhitungan berat beban pada setiap bidang yang menghasilkan gaya vertikal dengan jarak lengan beban terhadap titik tumpuannya.
 - d. Menghitung gaya tekan akibat arah gaya horisontal yang terjadi pada dinding penahan tanah, berupa tekanan tanah aktif, tekanan tanah pasif, tekanan air dan gaya gempa.
 - e. Menghitung jarak lengan bebannya.
 - f. Menghitung momen yang terjadi dengan cara mengkalikan hasil tekanan yang terjadi dengan lengan bebannya.
2. Menghitung stabilitas pada dinding penahan tanah:
 - a. Menghitung stabilitas terhadap guling dengan cara membagi jumlah momen penahan dengan jumlah momen pengguling. Agar kondisi stabilitasnya aman dari gaya guling hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 2.
 - b. Menghitung stabilitas terhadap penggeseran dengan cara membagi jumlah tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran (ΣR_h) dengan jumlah gaya tekanan horisontal (ΣP_h). Agar kondisi stabilitasnya aman dari gaya geser hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 1,5.
 - c. Menghitung stabilitas terhadap daya dukung tanah, dimulai dengan menghitung nilai q_{ult} dengan rumus Terzaghi. Setelah itu menghitung kapasitas dukung ultimit neto (q_{un}), dilanjutkan dengan menghitung tekanan pondasi neto (q_n). Untuk faktor amannya diperoleh dari kapasitas dukung ultimit neto dibagi

dengan tekanan pondasi netonya. Agar kondisi stabilitasnya aman dari keruntuhan daya dukung tanah hasilnya harus lebih besar atau sama dengan 3.

Langkah-Langkah Perhitungan Dengan Software Geo 5

Berikut langkah-langkah perhitungan menggunakan *software Geo 5*:

1. Membuka *Software Geo-5* dipilih *Gravity Wall*, maka akan muncul kotak dialog *information* lalu mengklik OK. Pada *Frame* bagian kanan mengklik *Project* pada bagian kanan atas, lalu mengisi *Task, Part, Customer, Description, Author, Project ID* dan *Project Number*.
2. Selanjutnya pada *frame* mengklik pada *Setting* dipilih *Add to Administrator* dan dipilih *Wall Analysis dan Pressure Analysis*. Pada kolom *Passive earth* diganti dengan *Rankine*.
3. Dipilih *Geometry* pada *frame* dipilih *gravity wall* nomor tiga dari kanan. Dimasukkan dimensi sesuai rencana yang akan digunakan.
4. Langkah selanjutnya dipilih *Material* dan dipilih *material* yang akan digunakan apakah beton atau pasangan batu.
5. Dibuat susunan kedalaman lapis tanah dengan cara memilih *profile* pada *frame* pilih *Add* lalu dimasukkan kedalamannya lalu OK.
6. Dimasukkan jenis lapisan tanah yang akan digunakan. Dengan cara memilih *Soil* pada *frame* lalu mengklik *Add* lalu pada kotak dialog *Add new soils* dipilih *Classify* pada *soil desiccation* memilih jenis lapisan dimasukkan *Saturated unit Weight*.
7. Memplotkan jenis tanah pada tiap lapisan dengan cara memilih *Assign* pada *frame* lalu sesuaikan jenis tanah pada lapisannya.
8. Setelah itu dipilih *Terrain* untuk menentukan bentuk lereng tanah. Pada analisis ini, memilih lereng nomer satu dari kiri.
9. Setelah itu dipilih *Water* untuk menentukan tinggi muka air dan tinggi

muka air tanahnya. Sebagai contoh memilih nomer tiga dari kiri.

10. Selanjutnya dipilih *Surcharge*, untuk memberikan beban pada tanah sebelah luar DPT biasanya beban merata atau beban titik misalnya: beban jalan. Jika seandainya tanah sebelah luar DPT digunakan sebagai jalan. Masukkan nilai q sebesar 10 KN/m^2 .
11. Dipilih *FF resistance*. Memilih nomer dua dari kiri dan ganti nilai h dari $0,5$ menjadi $1,5\text{m}$ (sesuai data yang ada) serta memilih lapisan tanahnya (*soil*). Jika tinggi dasar permukaannya terlalu tinggi maka *Resistance Typenya* diganti *Passive*.
12. Dipilih *Earthquake* untuk mengetahui kondisi DPT jika diberi gaya gempa. Dengan cara *ceklist* ada *Analyze earthquake* lalu mengisikan nilai Kh sebesar $0,1$
13. Selanjutnya dipilih *Verification*, untuk melihat apakah *Overtuning* dan *Slipnya* sudah memenuhi syarat atau belum.
14. Selanjutnya dipilih *Bearing Cap*, untuk melihat apakah *Eccentricity* dan *Foundation Soil* nya sudah memenuhi syarat atau belum. Dengan cara memilih *Analyze bearing capacity by Program Spread Footing* lalu mengisikan *Overall length of wall foundation*.

4. Hasil dan Pembahasan

Data tanah urugan

$$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 19,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 43,15^\circ$$

Data tanah dasar

$$\gamma = 15,876 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 19,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 43,15^\circ$$

Data beton

$$\gamma_c = 23,52 \text{ kN/m}^3$$

Data air

$$\gamma_w = 9,8 \text{ kN/m}^3$$

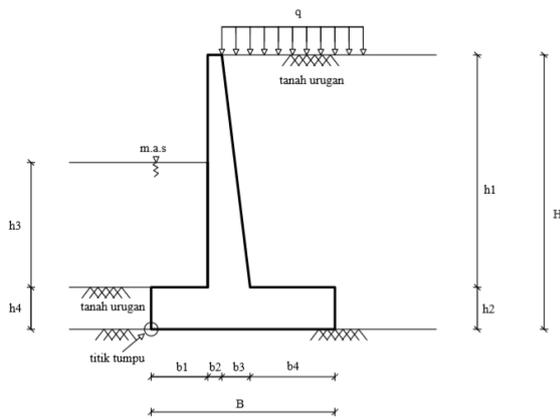
Data beban merata

$$q = 10 \text{ kN/m}^2$$

Data gempa

$$Kh = 0,1$$

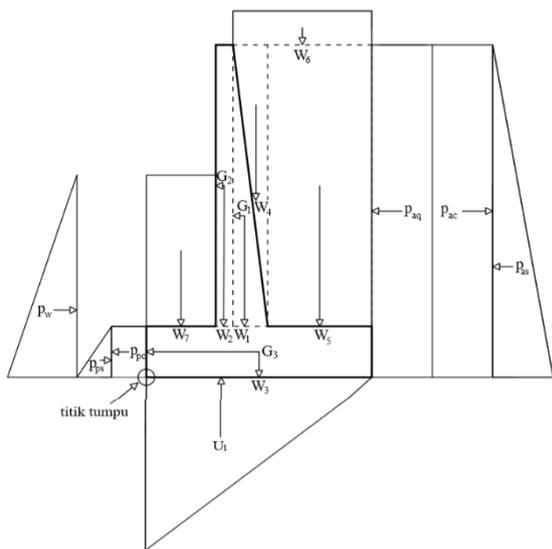
Dinding penahan tanah bagian hulu
Analisis perhitungan secara manual



Gambar 14 Dinding penahan tanah bagian hulu bendung

Diketahui:

$b_1 = 2$ $h_1 = 8,3$ m $B = 6,5$ m
 $b_2 = 0,5$ m $h_2 = 1,5$ m $H = 9,8$ m
 $b_3 = 1$ m $h_3 = 4,46$ m
 $b_4 = 3$ m $h_4 = 1,5$ m



Gambar 15 Diagram arah gaya dinding penahan tanah

Tabel 1 Hasil gaya tekan dan momen beban berat sendiri akibat gaya arah vertikal

No	Bagian	Berat (W) kN/m	Jarak (X) m	Momen (M) kNm
1	Beton W ₁	97,608	2,83	276,23
2	Beton W ₂	97,608	2,25	219,62
3	Beton W ₃	229,32	3,25	745,29
4	Tanah W ₄	65,885	3,167	208,658
5	Tanah W ₅	395,312	5	1976,56
6	Beban merata W ₆	40	4,5	180
7	Air W ₇	87,416	1	87,416
		$\Sigma W_v = 1008,139$		$\Sigma M_v = 3693,774$

Tabel 2 Hasil gaya tekan dan momen akibat gaya uplift

No	Bagian	U (kN)	Jarak (m)	Mu (kNm)
1	Uplift U ₁	189,826	2,167	411,289
		$\Sigma U = 189,826$		$\Sigma Mu = 411,289$

Tabel 3 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif

No	Bagian	Pa (kN)	Jarak (m)	Ma (kNm)
1	P _{aq}	18,424	4,9	90,27
2	P _{as}	143,324	3,26	467,236
3	P _{ac}	-168,952	4,9	-827,86
		$\Sigma Pa = -7,204$		$\Sigma Ma = -270,354$

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Tabel 4 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif

No	Bagian	Pp (kN)	Jarak (m)	Mp (kNm)
1	P _{ps}	95,02	0,5	47,51
2	P _{pc}	-137,56	0,75	-103,17
		$\Sigma Pp = -42,54$		$\Sigma Mp = -55,66$

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Tabel 5 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada air

No	Bagian	Pair (kN)	Jarak (m)	Mair (kNm)
1	Air	174,055	1,99	346,369
		$\Sigma Pp = 174,055$		$\Sigma Mp = 346,369$

Tabel 6 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa

No	Bagian	Berat (G) kN	Jarak (X) m	Momen (Mg) kNm
1	Beton G ₁	9,76	4,27	41,675
2	Beton G ₂	9,76	5,65	55,144
3	Beton G ₃	22,93	0,75	17,19
		$\Sigma G = 42,45$		$\Sigma Mg = 114,009$

- Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\Sigma Mt}{\Sigma Mgl} = \frac{4040,143}{525,298} = 7,691 \geq 2 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap geser

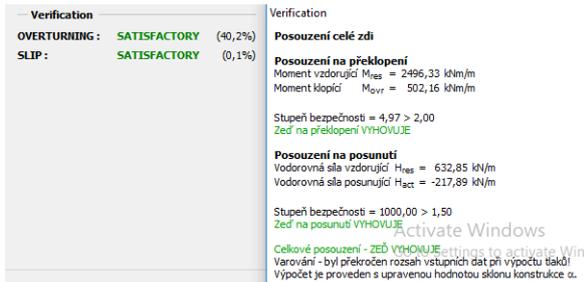
$$SF = \frac{\Sigma Rh}{\Sigma Ph} = \frac{131,605}{896,32} = 6,81 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

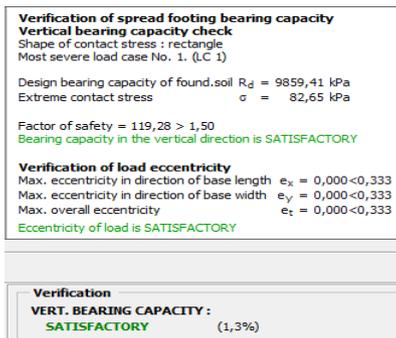
$$SF = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{5711,926}{794,499} = 7,819 \geq 3 \text{ (aman)}$$

Analisis Berdasarkan Software Geo 5

Hasil analisis stabilitas geser (*slip*) dan hasil analisis stabilitas guling (*overturning*) pada Gambar 16, dan untuk hasil stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) pada Gambar 17 di bawah ini.



Gambar 16 Hasil analisis *overturning* dan *slip*



Gambar 17 Hasil analisis *bearing capacity*

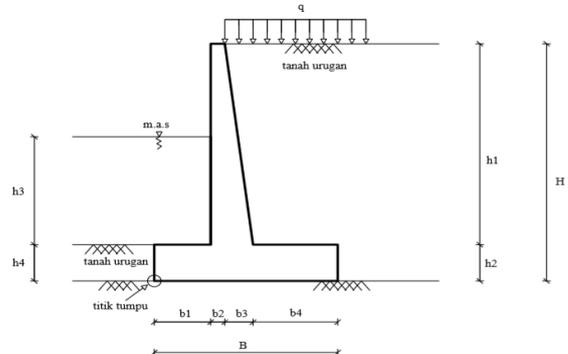
Berdasarkan hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah menggunakan program *software Geo 5* pada Gambar 16 dan Gambar 17 yang telah dilakukan didapatkan hasil analisis stabilitas terhadap guling (*overturning*) sebesar $SF = 4,97$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap momen guling. Hasil analisis stabilitas terhadap geser (*slip*) sebesar $SF = 2,904$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap gaya geser. Hasil analisis stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) sebesar $SF = 119,28$ yang berarti dalam keadaan aman.

Tabel 7 Perbandingan hasil analisis

No	Stabilitas	Perhitungan Manual	Software Geo 5
1	Guling	7,691	4,97
2	Geser	6,81	2,904
3	Daya Dukung Tanah	7,819	119,28

Maka dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tanah bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan keruntuhan daya dukung tanah.

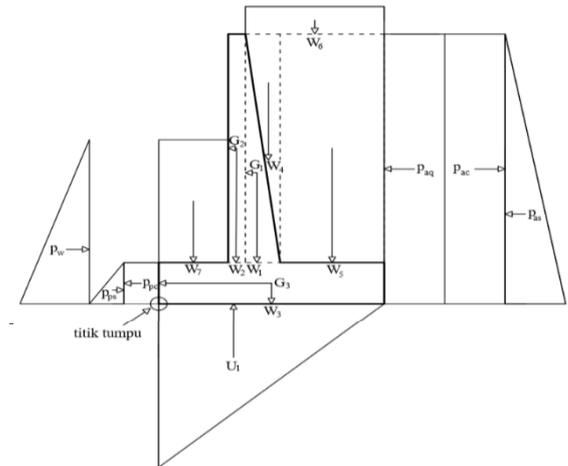
Dinding penahan tanah bagian kolam olak Analisis perhitungan secara manual



Gambar 18 Dinding penahan tanah bagian kolam olak

Diketahui:

- $b1 = 2,25 \text{ m}$ $h1 = 9,94 \text{ m}$ $H = 11,44 \text{ m}$
- $b2 = 0,5 \text{ m}$ $h2 = 1,5 \text{ m}$ $B = 7 \text{ m}$
- $b3 = 1 \text{ m}$ $h3 = 6,46 \text{ m}$
- $b4 = 3,25 \text{ m}$ $h4 = 1,5 \text{ m}$



Gambar 19 Diagram arah gaya dinding penahan tanah

Tabel 8 Hasil gaya tekan dan momen beban berat sendiri akibat gaya vertikal

No	Bagian	Berat (W) kN/m	Jarak (X) m	Momen (M) kNm
1	Beton W_1	116,89	3,08	360,02
2	Beton W_2	116,89	2,5	292,23
3	Beton W_3	246,96	3,5	846,36
4	Tanah W_4	78,9	3,42	269,84
5	Tanah W_5	512,87	5,375	2756,6
6	Beban merata W_6	42,5	4,875	207,19
7	Air W_7	142,443	1,125	160,248
		$\Sigma W_v = 1257,453$		$\Sigma M_v = 4892,568$

Tabel 9 Hasil gaya tekan dan momen akibat gaya uplift

No	Bagian	U (kN)	Jarak (m)	Mu (kNm)
1	Uplift U ₁	273,028	2,33	637,065
		ΣU = 273,028		ΣMu = 637,065

Tabel 10 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif

No	Bagian	Pa (kN)	Jarak (m)	Ma (kNm)
1	p _{aq}	21,5	5,72	122,98
2	p _{as}	195,308	3,81	744,12
3	p _{ac}	-197,23	5,72	-1128,15
		ΣPa = 19,578		ΣMa = -261,05

note: karena total hasil pada momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Tabel 11 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif

No	Bagian	Pp (kN)	Jarak (m)	Mp (kNm)
1	p _{ps}	95,02	0,5	47,51
2	p _{pc}	-137,56	0,75	-103,17
		ΣPp = -42,54		ΣMp = -55,66

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Tabel 12 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada air

No	Bagian	Pair (kN)	Jarak (m)	Mair (kNm)
1	Air	310,47	2,653	823,676
		ΣPair = 310,47		ΣMair = 823,676

Tabel 13 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa

No	Bagian	Berat (G)	Jarak (X)	Momen (Mg)
		kN/m	m	kNm
1	Beton G ₁	11,69	4,813	56,26
2	Beton G ₂	11,69	6,47	75,63
3	Beton G ₃	24,7	0,75	18,53
		ΣG = 48,08		ΣMg = 150,42

- Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} = \frac{5716,244}{787,485} = 7,258 \geq 2 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap geser

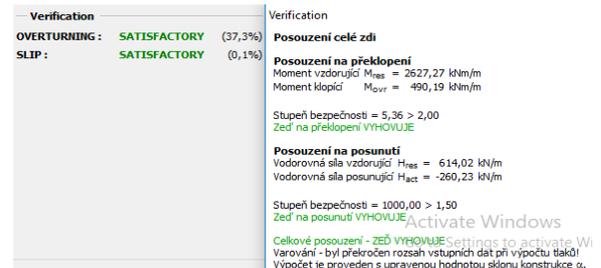
$$SF = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} = \frac{1061,98}{242,812} = 4,373 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

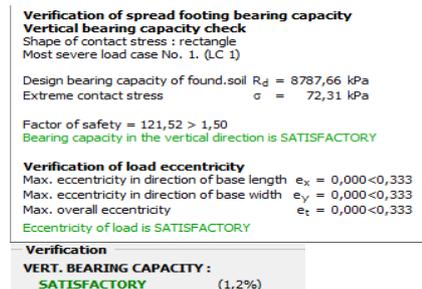
$$SF = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{5484,026}{984,425} = 5,57 \geq 3 \text{ (aman)}$$

Analisis Berdasarkan Software Geo 5

Hasil analisis stabilitas geser (*slip*) dan hasil analisis stabilitas guling (*overturning*) pada Gambar 20, dan untuk hasil stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) pada Gambar 21 dibawah ini.



Gambar 20 Hasil analisis *overturning* dan *slip*



Gambar 21 Hasil analisis *bearing capacity*

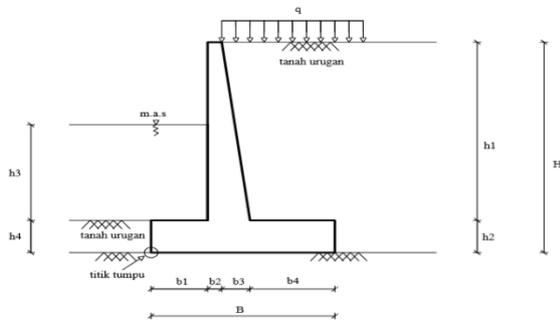
Berdasarkan hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah menggunakan program *software Geo 5* pada Gambar 20 dan Gambar 21 yang telah dilakukan didapatkan hasil analisis stabilitas terhadap guling (*overturning*) sebesar SF = 5,36 yang berarti dalam kondisi aman terhadap momen guling. Hasil analisis stabilitas terhadap geser (*slip*) sebesar SF = 2,359 yang berarti dalam kondisi aman terhadap gaya geser. Hasil analisis stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) sebesar SF = 121,52 yang berarti dalam keadaan aman.

Tabel 14 Perbandingan hasil analisis

No	Stabilitas	Perhitungan Manual	Software Geo 5
1	Guling	7,258	5,36
2	Geser	4,373	2,359
3	Daya Dukung Tanah	5,57	121,59

Maka dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tanah bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan keruntuhan daya dukung tanah.

Dinding penahan tanah bagian hilir
Analisis perhitungan secara manual



Gambar 22 Dinding penahan tanah bagian hilir bendung

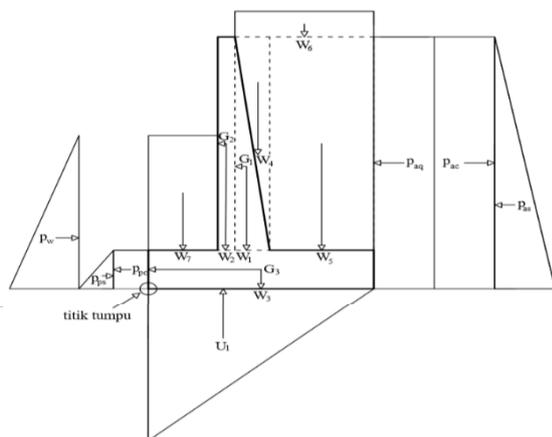
Diketahui:

b1 = 1,75 m h1 = 8,19 m H = 9,69 m

b2 = 0,5 m h2 = 1,5 m B = 5,75 m

b3 = 1 m h3 = 4,42

b4 = 2,5 m h4 = 1,5 m



Gambar 23 Diagram arah gaya dinding penahan tanah

Tabel 15 Hasil gaya tekan dan momen beban berat sendiri akibat gaya arah vertikal

No	Bagian	Berat (W) kN/m	Jarak (X) m	Momen (M) kNm
1	Beton W ₁	96,31	2,58	248,48
2	Beton W ₂	96,31	2	192,62
3	Beton W ₃	202,86	2,875	583,22
4	Tanah W ₄	65,01	2,92	189,83
5	Tanah W ₅	325,06	4,5	1462,77
6	Beban merata W ₆	35	4	140
7	Air W ₇	75,8	0,875	66,32
		$\Sigma W_v = 896,35$		$\Sigma M_v = 2883,24$

Tabel 16 Hasil gaya tekan dan momen akibat gaya uplift

No	Bagian	U (kN)	Jarak (m)	Mu (kNm)
1	Uplift U ₁	166,796	1,92	319,68
		$\Sigma U = 166,796$		$\Sigma Mu = 319,68$

Tabel 17 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah aktif

No	Bagian	Pa (kN)	Jarak (m)	Ma (kNm)
1	P _{aq}	18,22	4,845	88,27
2	P _{as}	140,12	3,23	452,58
3	P _{ac}	-167,05	4,845	-809,35
		$\Sigma Pa = -8,71$		$\Sigma Ma = -268,5$

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Tabel 18 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tanah pasif

No	Bagian	Pp (kN)	Jarak (m)	Mp (kNm)
1	P _{ps}	95,02	0,5	47,51
2	P _{pc}	-137,56	0,75	-103,17
		$\Sigma Pp = -42,54$		$\Sigma Mp = -55,66$

note: karena total hasil pada gaya tekan dan momennya bernilai negative (-), maka dianggap 0 yang berarti tidak ada gaya dan momen yang bekerja pada tanah.

Tabel 19 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen pada tekanan air

No	Bagian	Pair (kN)	Jarak (m)	Mair (kNm)
1	Air	171,73	1,973	338,82
		$\Sigma Pair = 171,73$		$\Sigma Mair = 338,82$

Tabel 20 Hasil perhitungan gaya tekan dan momen akibat beban gempa

No	Bagian	Berat (G) kN/m	Jarak (X) m	Momen (MG) kNm
1	Beton G ₁	9,63	4,23	40,73
2	Beton G ₂	9,63	5,595	53,88
3	Beton G ₃	20,286	0,75	15,21
		$\Sigma G = 39,546$		$\Sigma Mg = 109,82$

- Stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\Sigma Mt}{\Sigma Mg} = \frac{3222,06}{429,51} = 7,501 \geq 2 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap geser

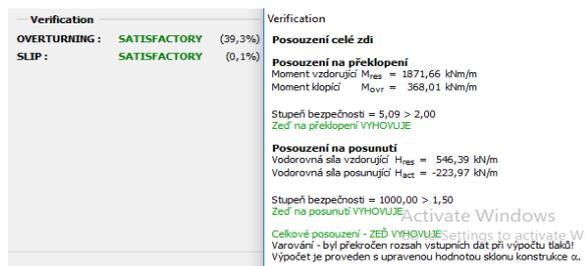
$$SF = \frac{\Sigma Rh}{\Sigma Ph} = \frac{798,209}{132,184} = 6,038 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

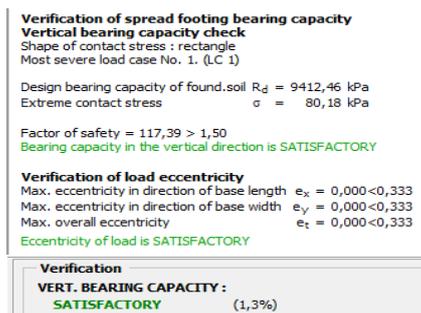
$$SF = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{5484,026}{705,74} = 7,77 \geq 3 \text{ (aman)}$$

Analisis Berdasarkan Software Geo 5

Hasil analisis stabilitas geser (*slip*) dan hasil analisis stabilitas guling (*overturning*) pada Gambar 24, dan untuk hasil stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) pada Gambar 25 dibawah ini.



Gambar 24 Hasil analisis *overturning* dan *slip*



Gambar 25 Hasil analisis *bearing capacity*

Berdasarkan hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah menggunakan program *software Geo 5* pada Gambar 24 dan Gambar 25 yang telah dilakukan didapatkan hasil analisis stabilitas terhadap guling (*overturning*) sebesar $SF = 5,09$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap momen guling. Hasil analisis stabilitas terhadap geser (*slip*) sebesar $SF = 2,439$ yang berarti dalam kondisi aman terhadap gaya geser. Hasil analisis stabilitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) sebesar $SF = 117,39$ yang berarti dalam keadaan aman.

Tabel 21 Perbandingan hasil analisis

No	Stabilitas	Perhitungan Manual	Software Geo 5
1	Guling	7,501	5,09
2	Geser	6,038	2,439
3	Daya Dukung Tanah	7,77	117,39

Maka dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tanah bendung Kamijoro aman terhadap stabilitas guling, geser dan keruntuhan daya dukung tanah.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data serta hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan pada dinding penahan tanah bendung Kamijoro dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah dengan perhitungan secara manual didapatkan hasil:

- a. Analisis stabilitas terhadap guling pada bagian hulu bendung diperoleh hasil faktor keamanan ($SF = 7,691$) yang berarti dalam kondisi aman, pada bagian kolam olak diperoleh hasil faktor keamanan ($SF = 7,258$) yang berarti dalam kondisi aman dan pada bagian hilir bendung diperoleh hasil faktor keamanan ($SF = 7,501$) yang berarti dalam kondisi aman. Sehingga disimpulkan bahwa dinding penahan tanah aman terhadap stabilitas guling.
- b. Analisis stabilitas terhadap geser pada bagian hulu bendung diperoleh hasil faktor keamanan ($SF = 6,81$) yang berarti dalam kondisi aman, pada bagian kolam olak diperoleh hasil faktor keamanan ($SF = 4,373$) yang berarti dalam kondisi aman dan pada bagian hilir bendung diperoleh hasil faktor keamanan ($SF = 6,038$) yang berarti dalam kondisi aman. Sehingga disimpulkan bahwa dinding penahan tanah aman terhadap stabilitas geser secara keseluruhan.
- c. Analisis stabilitas terhadap daya dukung tanah pada dinding penahan tanah bagian hulu bendung diperoleh nilai faktor keamanan ($SF = 7,819$) yang berarti dalam kondisi aman, kolam olak diperoleh nilai faktor keamanan ($SF = 5,57$) yang berarti

dalam kondisi aman dan hilir bendung diperoleh nilai faktor keamanan (SF) = 7,77 yang berarti dalam kondisi aman. Sehingga disimpulkan bahwa dinding penahan tanah aman terhadap keruntuhan daya dukung tanah.

2. Berdasarkan hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah dengan program *software Geo 5* didapatkan hasil:
 - a. Analisis stabilitas terhadap guling (*overturning*) pada bagian hulu bendung diperoleh hasil faktor keamanan (SF) = 4,97 yang berarti dalam kondisi aman, pada bagian kolam olak diperoleh hasil faktor keamanan (SF) = 5,36 yang berarti dalam kondisi aman, dan pada bagian hilir bendung diperoleh hasil faktor keamanan (SF) = 5,09 yang berarti dalam kondisi aman. Sehingga disimpulkan bahwa dinding penahan tanah aman terhadap stabilitas guling (*overturning*).
 - b. Analisis Analisis stabilitas terhadap geser (*slip*) pada bagian hulu bendung diperoleh hasil faktor keamanan (SF) = 2,904 yang berarti dalam kondisi aman, pada bagian kolam olak diperoleh hasil faktor keamanan (SF) = 2,359 yang berarti dalam kondisi aman, dan pada bagian hilir bendung diperoleh hasil faktor keamanan (SF) = 2,439 yang berarti dalam kondisi aman. Sehingga disimpulkan bahwa dinding penahan tanah aman terhadap stabilitas geser (*slip*).
 - c. Analisis stabilitas terhadap daya dukung tanah (*bearing capacity*) pada dinding penahan tanah bagian hulu bendung diperoleh nilai faktor keamanan (SF) = 119,28 yang berarti dalam kondisi aman, kolam olak diperoleh nilai faktor keamanan (SF) = 121,52 yang berarti dalam kondisi aman dan hilir bendung diperoleh nilai faktor keamanan (SF) = 117,39 yang berarti dalam kondisi aman.

Sehingga disimpulkan bahwa dinding penahan tanah aman terhadap keruntuhan daya dukung tanah (*bearing capacity*).

6. Daftar Pustaka

- Abdurrozak, M. R. dan Wibowo N. A., 2016, Pengaruh Kondisi Ekstrim Terhadap Stabilitas Internal Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus Pada Jalan Nasional Iii Yogyakarta-Wonosari Km 17, Sta 00+060), *Jurnal Teknisia*, 11(1), 189-200.
- Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak, 2014, *Detail Desain Peningkatan Bangunan Pengambilan dan Jaringan Irigasi D.I. Kamijoro Kabupaten Bantul*, Kementerian Pekerjaan Umum, Yogyakarta.
- BSN, 2017, SNI 8460-2017: *Persyaratan Perancangan Geoteknik*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Chairullah, B., 2013, Analisa Lapisan Dan Perbandingan Daya Dukung Tanah Yang Dihitung Dengan Beberapa Metoda Pada Lokasi Rencana Dam PLTA Peusangan IV Bener Meriah, *Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 127-136.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2013, *Standar Perencanaan Irigasi, Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02*, Kementrian Pekerjaan Umum Jakarta.
- Handayani, T., Wulandari, S. dan Wulan, A., 2014, Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Geoslope/W 7.12, *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2014)*, Depok, 14-15 Oktober 2014, 409-415.
- Hardiyatmo, H. C., 2010, *Mekanika Tanah II*, Edisi Kelima, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hyo, S. P., Dong. W. J., Selenge, E., Dong, W. K. dan Seung, H. B., 2016, Evaluation of Stability for Ecological Revetment Method with Stone Mattress and Vegetation Mound Using ANSYS Fluent, *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*, 9(1), 363-372.

- Kalalo, M., Ticoth, J. H. dan Mandagi, A. T., 2017, Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus: Sekitar Areal PT. Trakindo, Desa Maumbi, Kabupaten Minahasa Utara), *Jurnal Sipil Statik*, 5(5), 285-294.
- Kusnan, 2017, Model Alat Rancang Bangun Untuk Menentukan Garis Aliran Rembesan Air (Seepage Line Formation) Di Timbunan Tubuh Bendungan Tipe Urugan Homogen, *Jurnal Teknik Waktu*, 15(2), 36-49.
- Lebao, K. dan Sulistyan, K. F., 2016, Studi Perencanaan Ulang Dinding Penahan Pada Hulu Bendung Kramat Kecamatan Tumpang Kabupaten Malang, *Jurnal Reka Buana*, 1(1), 19-25.
- Listyawan, A. B., Trinugroho, S. dan Nugraha, A., 2013, Desain Dimensi Dinding Penahan Tanah dengan Menggunakan Program Geo 5, *Simposium Nasional RAPI XII-2013 FT UMS*, Surakarta, 5 Desember 2013, 9-14.
- Mangroe, V. R., 2013, Perencanaan Bendung untuk Daerah Irigasi Sulu, *Jurnal Sipil Statik*, 1(7), 533-541.
- Muhyamin, L. O., 2016, Desain Software Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dengan Program Visual Basic 6.0, *eJournal Teknik Sipil*, 1(1), 1-15.
- Muntohar, A. S., 2006, Mekanisme Keruntuhan Lereng Tegak Dan Teknik Perkuatannya Dengan Geotekstil, *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 85-169.
- Nur, O. F. dan Hakam, A., 2010, Analisa Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) Akibat Beban Dinamis dengan Simulasi Numerik, *Jurnal Rekayasa Sipil*, 6(2), 41-54.
- Pradana, A. P., Zakaria, Z. dan Muslim, D., 2017, Rekayasa Lereng dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Di Salah Satu Segmen Jalan Daerah Ciletuh, *Padjadjaran Geoscience Journal*, 1(2), 141-148.
- Pusat Studi Gempa Nasional, 2017, *Pemutakhiran Sumber dan Peta Gempa Indonesia 2017*, Jakarta.
- Putra, T. G. S., Ardana, M. D. W., dan Aryati, M., 2010, Analisis Stabilitas Lereng Pada Badan Jalan Dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus Jalan Raya Selemadeg, Desa Brantas, Kecamatan Selemadeg Timur, Kabupaten Tabanan), *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 36-42.
- Setiawan, H., 2011, Perbandingan Penggunaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Gravitasi dengan Variasi Ketinggian Lereng, *Jurnal Insfrastruktur*, 1(2), 36-57.
- Shahrbanozadeh, M., Barani, G. dan Shojaee, S., 2015, Simulation of Flow Throught Dam Foundation by Isogeometric Method, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18, 185-193.
- Sugianti, K., 2013, Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Pada Ruas Jalan Raya Cadaspangeran, Sumedang, *Riset Geologi dan Pertambangan*, 22(2), 105-125.
- Syofyan, Z. dan Frizaldi, 2017, Analisa Desain Bendung D.I Kawasan Sawah Laweh (3.273 Ha) Tarusan Kabupaten Pesisir Selatan Provinsi Sumatera Barat, *Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 70-78.