

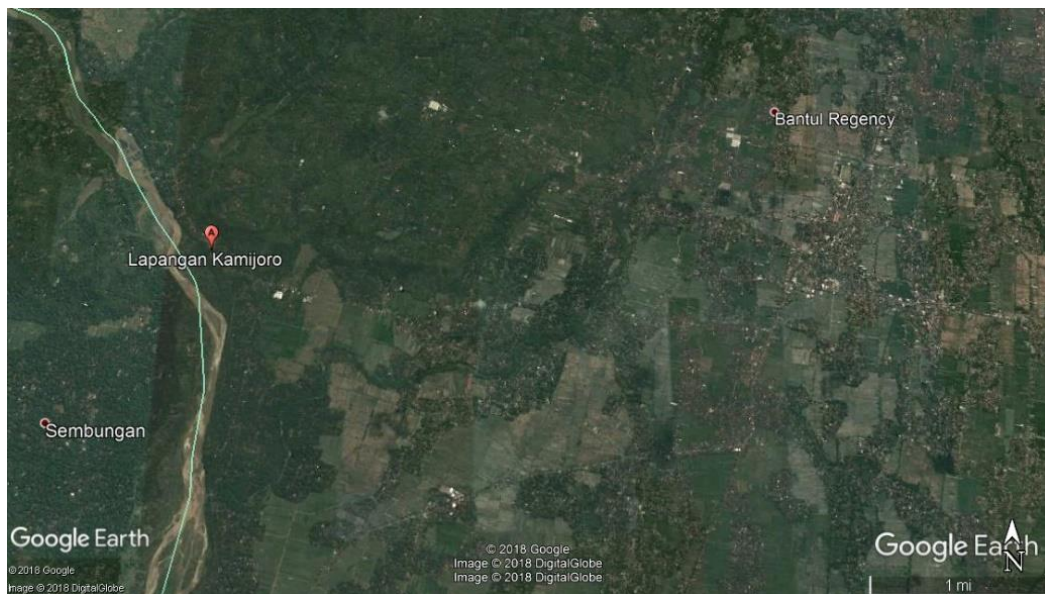
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada Bendung Kamijoro yang terletak pada aliran Sungai Progo pada Daerah Irigasi Kamijoro di Desa Sendangsari, Kecamatan Pajangan, Kabupaten Bantul. Sungai Progo ini memiliki panjang sungai utama 138 km, sisi barat dibatasi Gunung Sumbing, sisi timur Gunung Merbabu dan Merapi. Kali Progo ini memiliki luasan DAS sebesar 2380 km².

Pemafaatan air Kali Progo utamanya adalah untuk irigasi dan air baku, maka dapat dikatakan bahwa Kali Progo merupakan sumber air andalan di Daerah Istimewa Yogyakarta. Disamping pemanfaatan sumber air, Kali Progo juga menyumbangkan material hasil erupsi Gunung Merapi yang utamanya dari Kali Krasak dan Kali Blongkeng. Berikut diberikan Gambar 3.1 untuk lokasi penelitian.



Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian Bendung Kamijoro

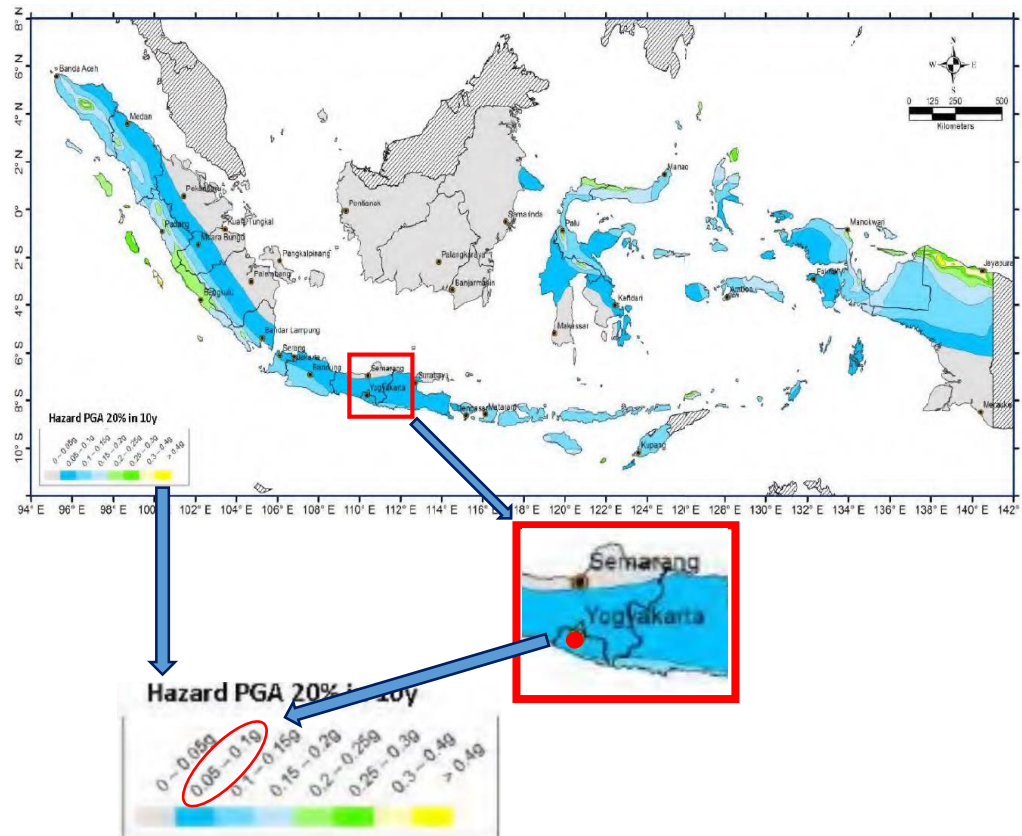
3.2. Karakteristik Obyek Penelitian

3.2.1. Karakteristik Tanah & Kegempaan

Jenis tanah pada lokasi Bendung Kamijoro adalah pasir, karena berkaitan dengan kondisi endapan Sungai Progo di lokasi sekitar Intake Kasmijoro. Pada bagian tepi kanan ketebalan endapan sungai (pasir, kerikil, kerakal) relatif lebih

tebal dibandingkan dibagian tepi kiri sungai, dengan perkiraan ketebalan 15 – 20 meter dengan lebar endapan mencapai jarak kira-kira 200 meter yang menjadi zona dataran banjir dari Sungai Progo. Berdasarkan hasil pengujian mekanika tanah yang dilakukan oleh pihak yang terkait dalam proyek ini, didapatkan hasil parameter tanah pondasi, yaitu Sudut gesek tanah (ϕ) = 30,00 dan Rapat massa tanah (γ) = 1,30 ton/m³.

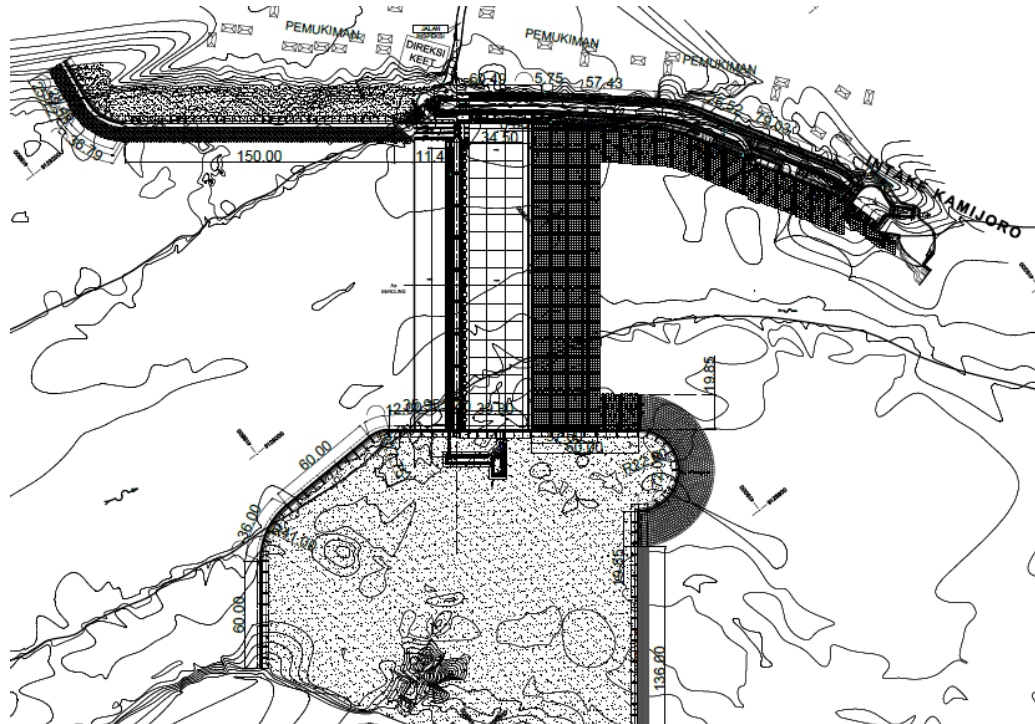
Karakteristik kegempaan pada lokasi Bendung Kamijoro didasarkan pada Peta Gempa Indonesia 2017, dengan tinjauan pada Peta percepatan puncak batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 20% dalam periode 10 tahun, yang mana disajikan pada Gambar 3.2 dibawah ini ataupun pada lampiran 1. Berdasarkan pada peta tersebut maka percepatan gempa di lokasi Bendung Kamijoro memiliki koefisien gempa (k) berkisar antara 0,05 - 0,1.



Gambar 3.2 Peta percepatan puncak batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 20% dalam 10 tahun (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

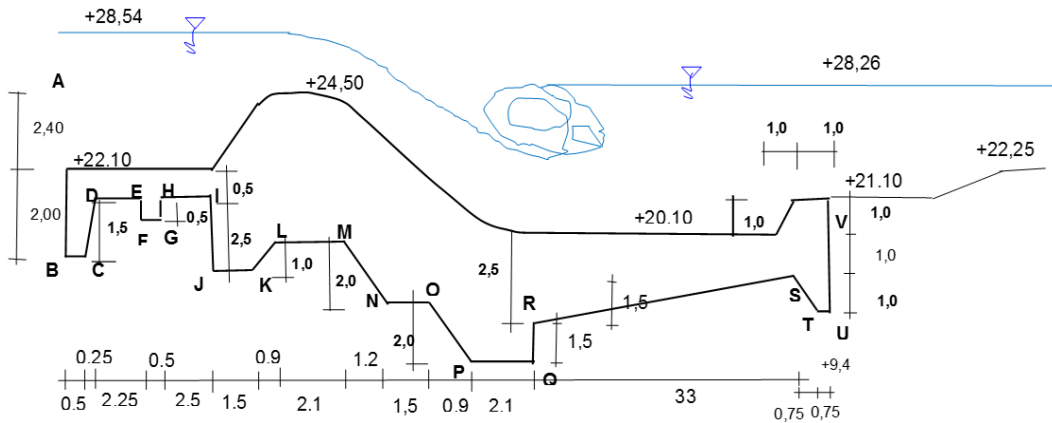
3.2.2. Karakteristik Struktur Bendung Kamijoro

Bendung Kamijoro direncanakan untuk suplesi air bagi Bendung Pijenan yang mengairi sawah seluas 2.370 ha yang terdiri atas Daerah Irigasi (D.I.) Jigutan di bagian hulu seluas 296 ha dan D.I. Kebonongan di bagian hilir seluas 2.074 ha. Berikut diberikan beberapa desain & karakteristik Bendung Kamijoro, yang mana untuk desain secara keseluruhan Bendung Kamijoro dapat dilihat pada Lampiran 1.

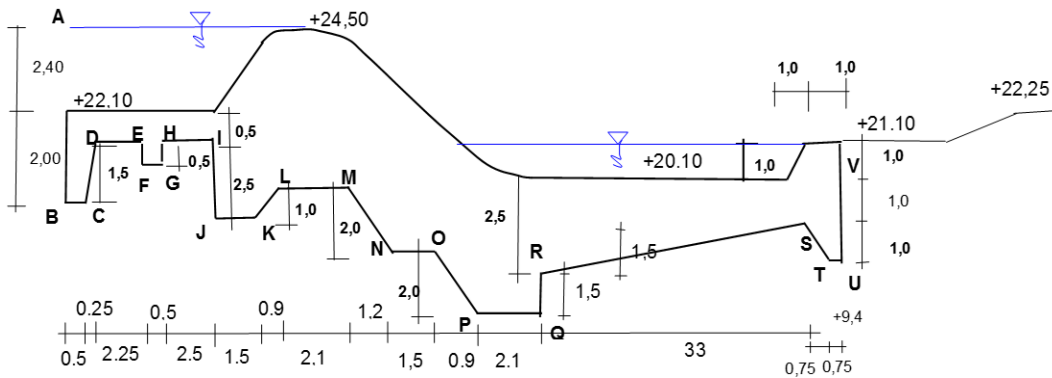


Gambar 3.3 Denah konstruksi Bendung Kamijoro
(Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak, 2014)

Bahan konstruksi	: Beton bertulang (f_c' : 15 mpa, ρ : 2,40 T/m ³)
Elevasi mercu bendung	: 24,50 m
Lebar bendung	: 171,00 m
Tinggi badan bendung	: 2,40 m
Panjang badan bendung	: 10,50 m
Panjang total bendung (hulu s/d hilir):	43,50 m
Panjang lantai hulu:	6,00 m ~ elevasi: 22,10 m
Panjang kolam olakan	: 33,00 m ~ elevasi: 20,10 m
Elevasi muka air banjir hulu	: 28,54 m
Elevasi muka air banjir hilir	: 28,28 m
Muka air normal hilir	: 21,10m



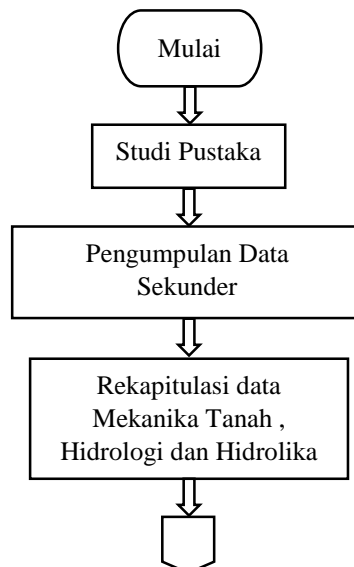
Gambar 3.5 Konstruksi bendung dengan kondisi muka air banjir
(Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak, 2014)

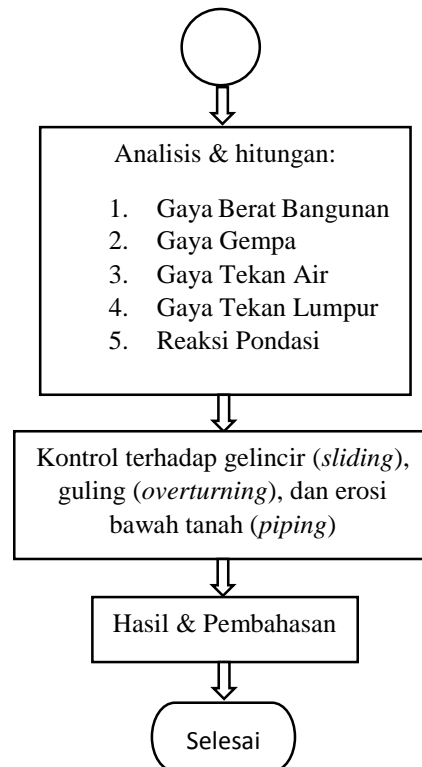


Gambar 3.6 Konstruksi bendung dengan kondisi muka air normal
(Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak, 2014)

3.3. Bagan Alir Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dapat digambarkan dengan bagan alir sebagai Gambar 3.7 berikut.





Gambar 3.7 Bagan alir tahapan penelitian

Berdasarkan pada tahapan penelitian diatas, metode perhitungan yang digunakan pada penelitian kali ini memiliki kesamaan dengan metode yang digunakan oleh konsultan perencana Bendung Kamijoro. Kesamaan metode tersebut dikarenakan Peneliti maupun konsultan mengacu kepada peraturan yang sama yaitu Standar Perencanaan Irigasi tahun 2013. Kesamaan metode terdapat pada perhitungan Gaya Berat Bangunan, Gaya Gempa, Gaya Tekan Lumpur, dan Reaksi Pondasi. Akan tetapi ada metode yang berbeda yaitu pada perhitungan gaya tekan air terutama Gaya *Uplift* Air, yang mana pada penelitian ini menggunakan metode Jaringan Aliran (Flow Net), sementara itu konsultan perencana menggunakan Metode Rembesan Lane. Berikut diuraian lebih lanjut mengenai tahapan penelitian dan metode yang digunakan tersebut:

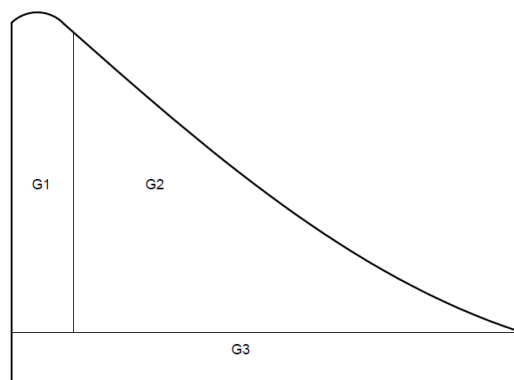
3.3.1. Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data adalah merupakan suatu langkah pertama yang harus dilakukan, kerana ini sangat menentukan dalam suatu proses penelitian tersebut hingga akhir. Pada penelitian ini menggunakan data sekunder, dan pengumpulan data sekunder ini dilakukan dengan mengajukan permintaan data kepada pihak-pihak

yang terkait dalam proyek ini, salah satunya adalah pihak BBWS Serayu-Opak selaku pemilik proyek ini. Data-data yang diperlukan pada penelitian ini adalah berupa data Geologi Mekanika Tanah, serta data hidrologi dan hidrolika.

3.3.2. Analisis Gaya Berat Bangunan

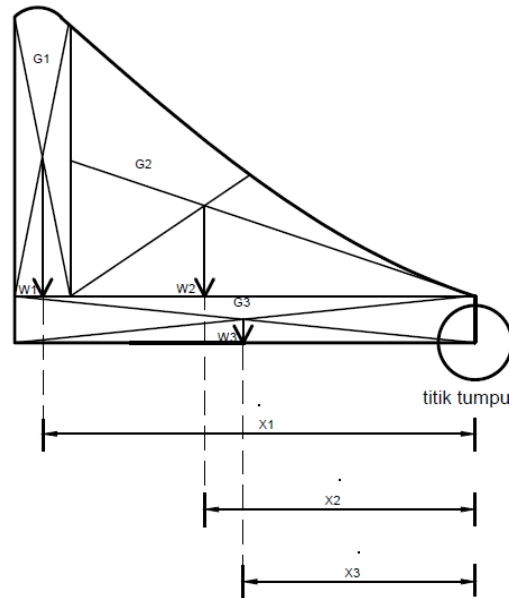
Gaya berat bangunan ini dilakukan perhitungan dengan arah vertikal kebawah yang garis kerjanya melewati titik berat konstruksi, dan untuk kemudahan dalam perhitungannya maka tubuh bendung dibagi menjadi beberapa pias. Berikut diberikan Gambar 3.3 untuk gaya berat sendiri tubuh bendung.



Gambar 3.8 Pembagian pias gaya berat tubuh bendung
(Sabihi dkk., 2017)

Berdasarkan pada Gambar 3.9 diatas, dapat dilakukan perhitungan gaya berat tubuh bendung yang mana harus mengikuti langkah-langkah berikut:

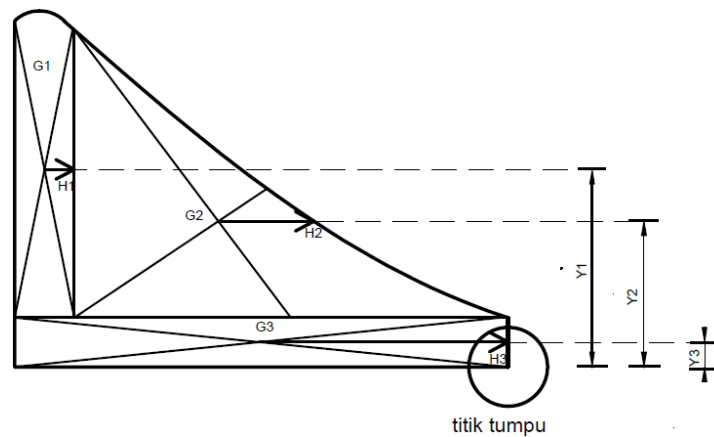
- a) Gaya berat bendung, perhitungan gaya dilakukan dengan mengalikan volume tubuh bendung pada pias yang ditinjau (G1, G2 atau G3) dengan massa jenis bahan bangunan (beton) yang mana memiliki persamaan sebagai berikut: $W = (0,5 \times \text{Alas} \times \text{tinggi} \times \text{lebar}) \times \rho_{\text{beton}}$ (untuk segitiga) dan $W = (\text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi}) \times \rho_{\text{beton}}$ (untuk persegi).
- b) Momen berat. Pada perhitungan momen ini dilakukan dengan mengalikan gaya berat tubuh bendung (W) dengan lengan (x), seperti yang terlihat pada Gambar 3.4, dengan persamaan sebagai berikut: $M_V = W \times x$.



Gambar 3.9 Lengan momen masing-masing pias tubuh bendung
(Sabihi dkk., 2017)

3.3.3. Analisis Gaya Gempa

Gaya gempa dilakukan perhitungan dengan arah horizontal dan garis kerjanya melewati titik berat konstruksi. Perhitungan gaya gempa dilakukan dengan pengalihan antara koefisien gempa dengan gaya berat tubuh bendung yang telah dihitung sebelumnya. Untuk menghitung momen gempa, gaya gempa yang diperoleh sebelumnya dikalikan dengan lengan, yaitu jarak dari titik berat tubuh bendung ke arah bawah menuju titik tumpu. Berikut diberikan Gambar 3.5 untuk gaya gempa dengan lengan momennya.



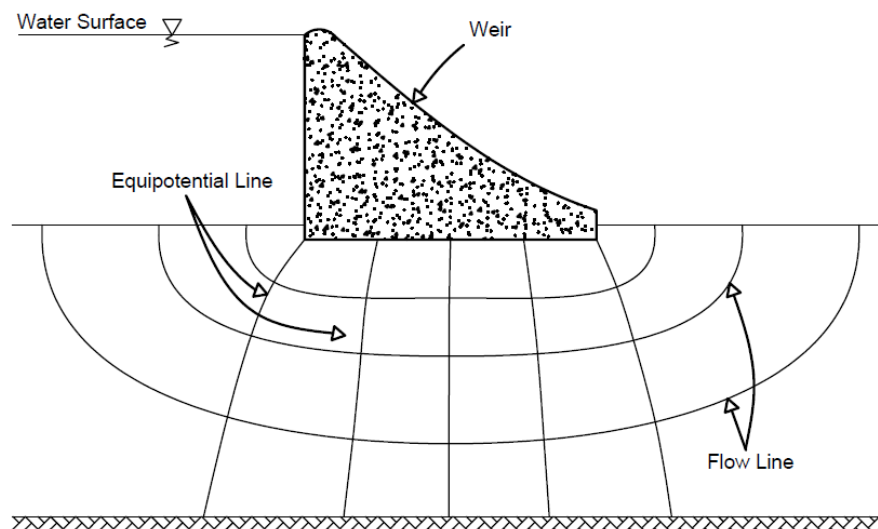
Gambar 3.10 Lengan momen gempa masing-masing pias tubuh bendung
(Sabihi dkk., 2017)

3.3.4. Analisis Gaya Tekan Air

Gaya tekan air disebabkan karena genangan air yang terdapat pada tubuh bendung. Gaya tekan air dibedakan menjadi 2 yaitu gaya berat air di atas tubuh bendung dan gaya angkat air (*uplift*) pada bagian bawah bendung. Gaya berat air di atas bendung ini timbul dari arah horizontal maupun vertikal kebawah. Gaya angkat (*Uplift*) pada pondasi bendung diakibatkan karena aliran air dibawah bendung akibat rembesan, yang mana gaya *uplift* ini memiliki arah gaya vertikal keatas. Gaya *uplift* ini dapat ditentukan dengan menggunakan jaringan aliran (*flownet*).

3.3.4.1. Analisis Gaya Uplift Air

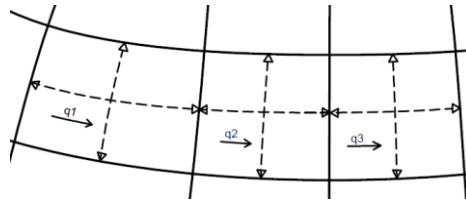
Pada analisis gaya *uplift* ini dilakukan dengan menggunakan Metode Jaringan Aliran. Jaringan aliran merupakan kombinasi dan pertemuan antara garis aliran (*flow line*) dan garis ekipotensial (*equipotential line*). Dalam penggambaran jaringan aliran, garis-garis aliran dan ekipotensial haruslah tegak lurus satu sama lain, sehingga elemen-elemen aliran yang dibuat dapat mendekati bujur sangkar. Berikut diberikan contoh gambar untuk jaringan aliran pada Gambar 3.6.



Gambar 3.11 Jaringan aliran dibawah bendung

(Sabihi dkk., 2017)

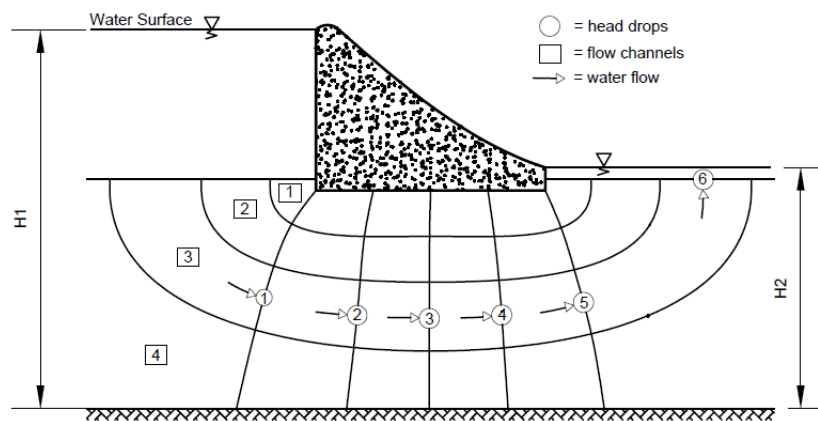
Pada *flow net* terdapat suatu daerah diantara dua *flow line* yang saling berdekatan dan membentuk persegi, daerah ini dinamakan dengan saluran aliran (*flow channel*). Berikut diberikan Gambar 3.7 untuk *flow channel*.

Gambar 3.12 *Flow channel*

(Sabihi dkk., 2017)

Pada Gambar 3.7 tersebut elemen-elemen *flow channel* diharuskan mendekati bentuk bujur sangkar, sehingga apabila elemen-elemen tersebut mendekati bentuk bujur sangkar, maka penurunan muka pizometrik antara dua garis ekipotensial yang berdekatan adalah sama. Pada bagian *flow channels* debit aliran akan mengalir sehingga nilai debit dapat ditentukan pada tiap *flow channels*.

Perhitungan debit rembesan dari *flow net* ini dilakukan dengan menggunakan Hukum Darcy seperti yang telah diuraikan pada Persamaan 2.3 sebelumnya. Sebelum menentukan nilai debit aliran air maupun gaya *uplift* nya terhadap bendung haruslah diketahui nilai dari beberapa parameter yaitu seperti beda tinggi muka air antara hulu dan hilir, jumlah kehilangan energi potensial, jumlah saluran aliran, koefisien permeabilitas tanah, serta massa jenis air. Berikut diberikan Gambar 3.8 untuk jaringan aliran beserta parameter-parameternya.



Gambar 3.13 Jaringan aliran dibawah bendung

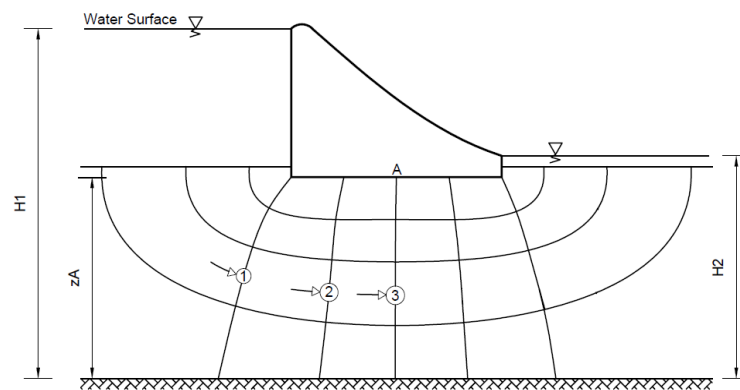
(Sabihi dkk., 2017)

Berdasarkan pada Gambar 3.8 diatas dan berdasar pada Hukum Darcy, dapat dilakukan perhitungan debit total pada jaringan aliran yang mana harus mengikuti langkah-langkah berikut:

- a) Selisih tinggi muka air antara hulu dengan hilir, yang mana $H = H_1 - H_2$

- b) Jumlah kehilangan energi potensial (*total head drops*). Berdasarkan Gambar 3.8 diatas dapat diketahui jumlah bidang kehilangan energi potensial dalam satu flow channel adalah $N_d = 6$.
- c) Jumlah saluran aliran (*flow channels*), Jumlah flow channels dapat diketahui sebesar $N_f = 6$.
- d) Beda tinggi energi, yaitu dengan cara membagi nilai selisih tinggi muka air hulu dan hilir (H) dengan *total head drops*, yang mana $\Delta h = H/N_d$.
- e) Debit total, pada perhitungan debit total ini dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.3 yaitu: $\Delta q = k \left(\frac{H}{N_d} \right)$.

Setelah dilakukan perhitungan debit total selanjutnya dilakukan perhitungan gaya *uplift* dengan tinjauan beberapa titik pada tubuh bagian dasar bendung. Berikut diberikan contoh Gambar 3.9 untuk jaringan aliran dengan tinjauan titik A.

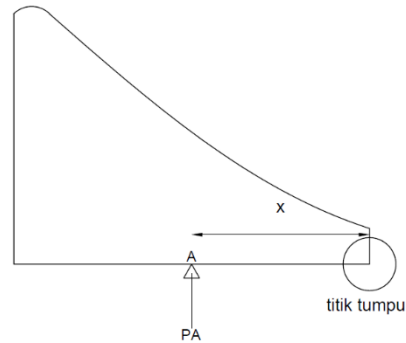


Gambar 3.14 Jaringan aliran dengan tinjauan titik A
(Sabihi dkk., 2017)

Berdasarkan pada Gambar 3.9 diatas dapat dilakukan perhitungan gaya *uplift* pada jaringan aliran yang mana harus mengikuti langkah-langkah berikut:

- f) Jumlah kehilangan energi potensial (*total head drops*). Berdasarkan gambar 3.9 diatas dapat diketahui jumlah bidang kehilangan energi potensial dalam satu flow channel adalah $N_d = 3$.
- g) Beda tinggi energi titik A, yaitu dengan mengurangi tinggi muka air di hulu dengan jumlah head drops dikali beda tinggi energi antara hulu dan hilir, dimana memiliki persamaan sebagai berikut: $H_A = H_1 - (N_{d_A} \times \Delta h)$
- h) Gaya *uplift* titik A, yaitu dengan mengalikan massa jenis air (1 ton/m^3) dengan beda tinggi energi titik A dikurangi tinggi titik A dari tanah dasar, dimana memiliki persamaan sebagai berikut: $PA = \rho_w \times (H_A - z_A)$

- i) Momen *uplift* titik A, yaitu dengan mengalikan nilai dari gaya uplift dengan lengan momen. Lengan momen ini merupakan jarak dari titik tekan A menuju titik tumpuan, seperti yang terlihat pada Gambar 3.10. Persamaannya sebagai berikut: $M_A = P_A \times x$

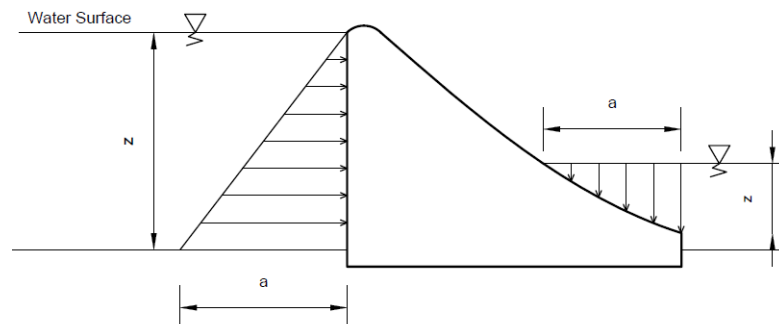


Gambar 3.15 Lengan momen *uplift* titik A

(Sabihi dkk., 2017)

3.3.4.2. Analisis Gaya Berat Air

Gaya berat air pada bagian atas bendung terdiri dari gaya horizontal dan gaya vertikal. Berikut diberikan Gambar 3.11 untuk gaya berat air.



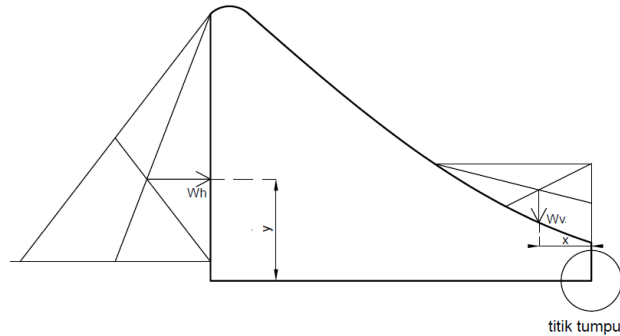
Gambar 3.16 gaya berat air pada tubuh bendung

(Sabihi dkk., 2017)

Berdasarkan pada Gambar 3.11 diatas, dapat dilakukan perhitungan gaya berat air yang mana harus mengikuti langkah-langkah berikut:

- a) Gaya horizontal dan vertikal air pada bagian hulu bendung. Pada perhitungan gaya tersebut pertama haruslah dilakukan perhitungan volume air dikalikan dengan massa jenis air, karena gaya horizontal pada bagian hulu maupun gaya vertikal bagian hilir sama-sama berbentuk segitiga maka persamaan dari kedua gaya tersebut dapat dituliskan sebagai berikut: $Wh \text{ atau } Wv = (0,5 \times A \times z \times l) \times \rho_w$

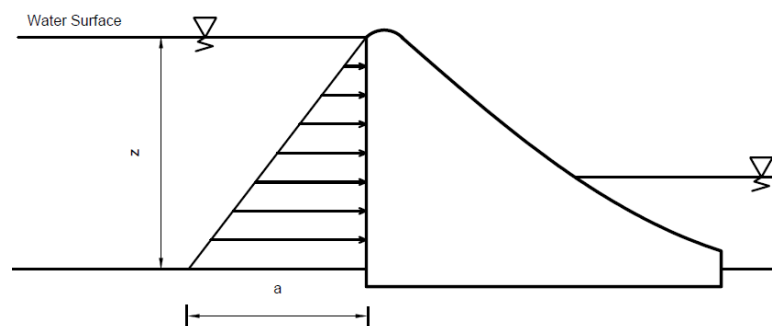
- b) Momen horizontal dan vertikal air. Pada perhitungan momen horizontal dilakukan dengan mengalikan gaya horizontal (H) dengan lengan (y), sementara itu untuk momen vertikal dilakukan dengan mengalikan gaya vertikal (V) dengan lengan (x), seperti yang terlihat pada Gambar 3.12, dan dengan persamaan sebagai berikut: $M_H = Wh \times y$ atau $M_V = Wv \times x$.



Gambar 3.17 Lengan momen gaya berat air
(Sabihi dkk., 2017)

3.3.5. Analisis Gaya Tekan Lumpur

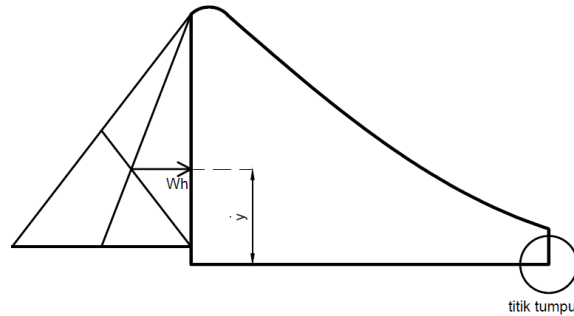
Gaya tekan lumpur diakibatkan karena kumpulan lumpur yang mengendap pada permukaan bendung. Hal ini mengakibatkan suatu gaya tekan horizontal maupun vertikal pada tubuh bendung. Kumpulan lumpur tersebut dibawa oleh aliran air akibat dari erosi dasar sungai maupun hanyutan sedimen-sedimen yang berasal dari gunung. Berikut diberikan Gambar 3.13 untuk gaya tekan lumpur pada tubuh bendung.



Gambar 3.18 Gaya tekan lumpur pada tubuh bendung
(Sabihi dkk., 2017)

Berdasarkan pada Gambar 3.13 diatas, dapat dilakukan perhitungan gaya tekan lumpur yang mana harus mengikuti langkah-langkah berikut:

- a) Gaya tekan lumpur, karena pada gambar diatas hanya terdapat gaya horizontal maka dilakukan perhitungan gaya horizontal saja. Perhitungan gaya dilakukan dengan Persamaan 2.4, yaitu sebagai berikut: $P_S = \frac{\tau_s \cdot h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right)$
- b) Momen horizontal. Pada perhitungan momen horizontal dilakukan dengan mengalikan gaya horizontal (W_h) dengan lengan (y), seperti terlihat pada Gambar 3.14, dan dengan persamaan sebagai berikut: $M_H = W_h \times y$

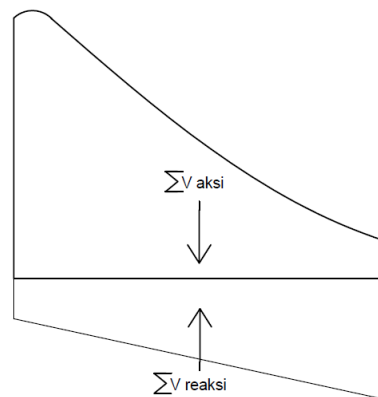


Gambar 3.19 Lengan momen gaya lumpur
(Sabihi dkk., 2017)

3.3.6. Analisis Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi diakibatkan oleh gaya-gaya vertikal baik dari tubuh bendung itu sendiri maupun gaya-gaya eksternal lainnya, sehingga menyebabkan pondasi bereaksi dengan menahan gaya-gaya tersebut dan meneruskannya ke tanah yang mana untuk reaksi pondasi diberikan Gambar 3.15. Perhitungan reaksi pondasi dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.4 pada bab sebelumnya yaitu

sebagai berikut: $p = \frac{\Sigma(W)}{A} + \frac{\Sigma(W)e}{I} m$



Gambar 3.20 Reaksi pondasi pada bendung
(Sabihi dkk., 2017)

3.3.7. Cek Stabilitas Bendung

Cek stabilitas bendung terdiri dari kontrol terhadap gelincir dan guling, cek stabilitas ini dilakukan setelah semua gaya-gaya yang bekerja pada bendung telah diketahui hasilnya. Total gaya yang bekerja pada bendung digabungkan sesuai dengan arah momen dan gaya yang bekerja pada bendung itu sendiri, kemudian gaya-gaya yang bekerja tersebut diuji kestabilannya terhadap gelincir dan guling. Selain itu, Pengecekan terhadap pipping perlu juga dilakukan guna mengetahui apakah tanah bawah bendung aman terhadap erosi.

3.3.7.1. Stabilitas terhadap Gelincir

Kontrol stabilitas terhadap gelincir, dilakukan dengan membagi total gaya vertikal yang bekerja pada bendung dengan total gaya horizontalnya dan hasilnya harus lebih besar atau sama dengan faktor amannya yaitu 2, yang mana menggunakan Persamaan 2.10 pada bab sebelumnya yaitu: $\frac{\Sigma(H)}{\Sigma(V-U)} = \tan \theta < \frac{f}{s}$

3.3.7.2. Stabilitas terhadap Guling

Kontrol stabilitas terhadap Guling, dilakukan dengan membagi total momen tahan yang bekerja pada bendung dengan total momen gulingnya dan hasilnya harus lebih besar atau sama dengan faktor amannya yaitu 1.5, yang mana menggunakan Persamaan 2.11 pada bab sebelumnya yaitu: $dx \geq S \frac{Px-Wx}{\tau}$

3.3.7.3. Stabilitas terhadap Pipping

Kontrol stabilitas terhadap *pipping* dilakukan untuk mengetahui apakah Bendung Kamijoro ini mengalami erosi bawah tanah diluar batas aman, yang mana perhitungan ini menggunakan Metode Lane. Data yang diperlukan untuk perhitungan ini berupa keliling bagian bawah bendung yang bersentuhan dengan tanah serta elevasi muka air hulu dan muka air hilir. Kontrol terhadap *pipping* dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

- a) Panjang lintasan air (L_w) pada bagian pondasi bendung, yaitu dengan cara menjumlahkan panjang lintasan vertikal dengan 1/3 panjang lintasan horizontal, yang mana memiliki persamaan sebagai berikut: $LW = \Sigma L_v + 1/3 \Sigma L_H$

- b) Nilai dari angka rembesan (C_L), yaitu dengan cara membagi panjang lintasan air (L_w) dengan selisih tinggi muka air antara hulu dan hilir, yang mana memiliki persamaan sebagai berikut: $C_L = \frac{L_w}{H_1 - H_2}$ atau berdasarkan pada Persamaan 2.12 dapat dituliskan $C_L = \frac{\sum L_v + 1/3 \sum L_H}{H}$
- c) Keamanan rembesan, yaitu dengan membandingkan nilai tersebut dengan ketentuan harga minimum rembesan Lane pada Tabel 2.3.