



Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY

Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



Volume 22, No.2
Agustus 2024

VOLUMETRIK REMBESAN DALAM PERENCANAAN PEMBANGUNAN TUBUH BENDUNGAN KOLAM RETENSI X (STUDI KASUS: DAS SANGGAI, IKN)

Fauziah Listiana Putri, Yudhi Listiawan, Hendarmawan

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor.

*Korespondensi: fauziah20003@mail.unpad.ac.id

ABSTRACT

The new capital city of Indonesia will be located in several sub-districts within North Penajam Paser and Kutai Kartanegara districts. This research focuses on planning for dam construction in the X Retention Pond in the Sanggai Watershed, Ibu Kota Nusantara (IKN). Construction planning requires an analysis of the seepage discharge that can occur when the dam is in operation. Excessive seepage discharge will affect the dam's stability and can cause piping. The analysis will be carried out under conditions of Low Water Level, Normal Water Level, and Flood Water Level. The data required include technical data for the X Retention Pond, a cross-sectional image of the dam, and laboratory test results. This seepage discharge was analyzed using Geostudio SEEP/W 2012 software (student license) and the flow net method. Based on the results of the analysis using Geostudio SEEP/W 2012, the seepage discharge in the body of the X Retention Pond dam under Low Water Level conditions is $1.6 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sec}$, Normal Water Level is $2.75 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sec}$, and Flood Water Level is $4.41 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sec}$. Both analysis methods yielded results with very small differences. The total seepage discharge obtained from both methods is smaller than the allowable seepage discharge, indicating that the body of the X Retention Pond dam is safe.

Keywords: Ibu Kota Nusantara, Hydrology, Earthfill Dam, Seepage Discharge

ABSTRAK

Ibu Kota Negara Indonesia yang baru akan berada pada sejumlah Kecamatan di Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanegara. Penelitian ini akan fokus pada perencanaan pembangunan bendungan di Kolam Retensi X yang ada di DAS Sanggai, Ibu Kota Nusantara (IKN). Dalam perencanaan sebuah bendungan, diperlukan analisis debit rembesan yang mungkin terjadi ketika bendungan sudah dioperasikan. Debit rembesan yang berlebihan akan mempengaruhi stabilitas dari bendungan dan dapat menyebabkan gejala *piping*. Analisis akan dilakukan pada kondisi Muka Air Rendah, Muka Air Normal, dan Muka Air Banjir. Data yang diperlukan yaitu data teknis Kolam Retensi X, gambar potongan melintang bendungan, dan hasil uji laboratorium. Debit rembesan ini dianalisis menggunakan *software* Geostudio SEEP/W 2012 (*student license*) dan metode grafis dengan penggambaran *flow net*. Berdasarkan hasil analisis menggunakan Geostudio SEEP/W 2012, debit rembesan pada tubuh bendungan Kolam Retensi X pada kondisi Muka Air Rendah sebesar $1.6 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$, Muka Air Normal sebesar $2.75 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$, dan Muka Air Banjir sebesar $4.41 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$. Kedua metode analisis memiliki hasil dengan selisih yang sangat kecil. Debit total rembesan yang didapatkan dari kedua metode lebih kecil dibandingkan dengan debit rembesan yang diizinkan sehingga tubuh bendungan Kolam Retensi dapat dinyatakan aman.

Kata kunci: Ibu Kota Nusantara, Hidrologi, Bendungan Urugan, Debit Rembesan

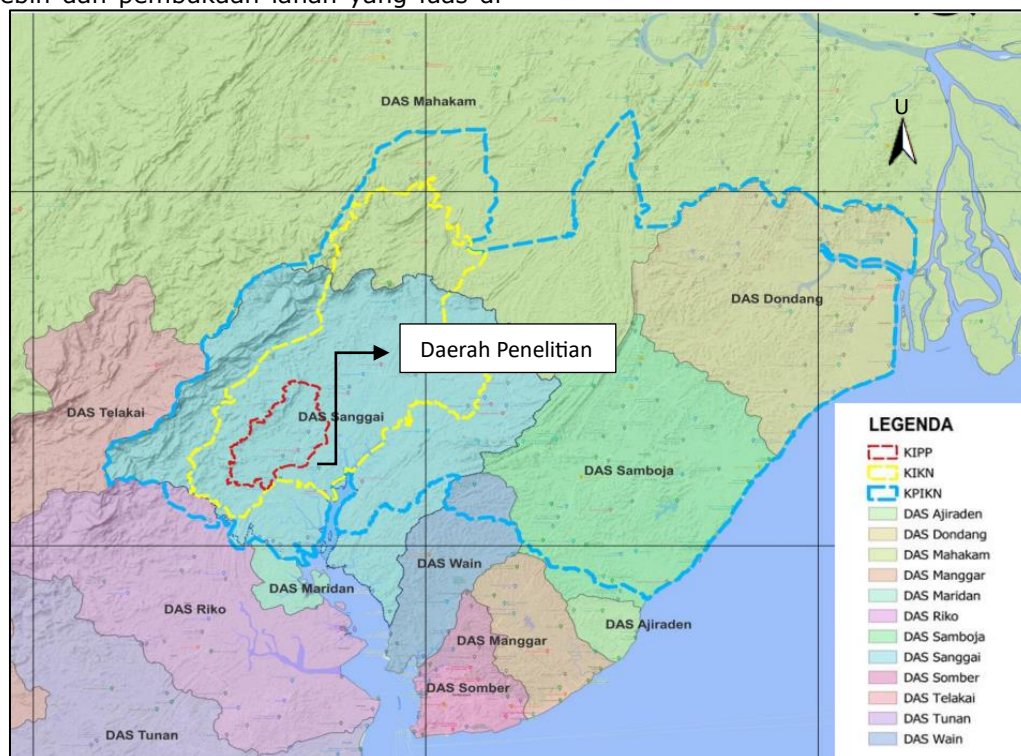
PENDAHULUAN

Pemindahan Ibu Kota Negara telah ditetapkan dalam UU Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara dimana wilayahnya akan terletak di sejumlah kecamatan di Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanegara (Pemerintah Indonesia, 2022). Berdasarkan Buku Saku Pemindahan Ibu Kota Negara

(2021), salah satu alasan pemerintah memilih daerah tersebut sebagai lokasi untuk pembangunan calon ibu kota yang baru adalah minimnya bencana alam yang terjadi seperti banjir. Wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) memiliki ketinggian berkisar antara 0–200 meter dengan beberapa tempat yang sangat landai dan rawan banjir, meskipun

beberapa wilayah berupa perbukitan tinggi yang tidak pernah terjadi banjir (Soeseno, 2022). Walaupun disebutkan minim banjir tetapi BPBD telah mencatat adanya 15 kali kejadian banjir pada tahun 2019-2022 di daerah Sepaku. Daerah yang terkena banjir tersebut merupakan Kelurahan Sepaku yang termasuk Kawasan Ibu Kota Nusantara (K-IKN) dan berada di timur laut Kawasan Inti Pemerintahan Pusat (KIPP). Kemudian dari data BWS Kalimantan IV (2023) diketahui total curah hujan tahunan yang ada di IKN Nusantara diketahui sekitar 2479 mm per tahunnya, dimana puncak musim hujan berada pada bulan April dan Desember. Tim Otorita IKN (2023) menyebutkan bahwa dalam upaya mitigasi bencana banjir yang utamanya diakibatkan oleh air limpasan berlebih dan pembukaan lahan yang luas di

wilayah IKN, telah disiapkan beberapa infrastruktur pendukung, salah satunya adalah pembangunan Kolam Retensi X. Kolam retensi sendiri merupakan bangunan air pengendali banjir yang fungsi utamanya sebagai sarana pengatur kelebihan aliran yang ada di permukaan (Syofyan, 2022). Kolam Retensi X ini berada di DAS Sanggai yang mana DAS ini merupakan salah satu DAS di Wilayah Sungai Mahakam dimana sebagian besar lokasi DAS Sanggai berada di Kecamatan Sepaku yang merupakan kecamatan terbesar di Kabupaten Penajam Paser Utara (BWS Kalimantan IV, 2023). Kemudian DAS Sanggai ini merupakan DAS terbesar yang melingkupi wilayah IKN dengan luas 89.12 km².



Gambar 1. Peta DAS dalam Kawasan IKN (BWS Kalimantan IV, 2023)

Pada Kolam retensi X ini terdapat bendungan yang berfungsi sebagai tumpuan penampungan air dan sebagai penahan rembesan air yang menuju ke arah hilir (Sosrodarsono & Takeda, 1977). Bendungan tersebut memiliki tipe urugan homogen yang merupakan bendungan dengan material utama timbunannya berupa tanah yang hampir sejenis dan memiliki susunan ukuran butir yang 80% hampir seragam (Sosrodarsono & Takeda, 1977). Dalam pembangunan bendungan tentunya diperlukan sebuah konstruksi yang stabil agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya dan juga dapat bertahan selama waktu operasional yang telah ditentukan

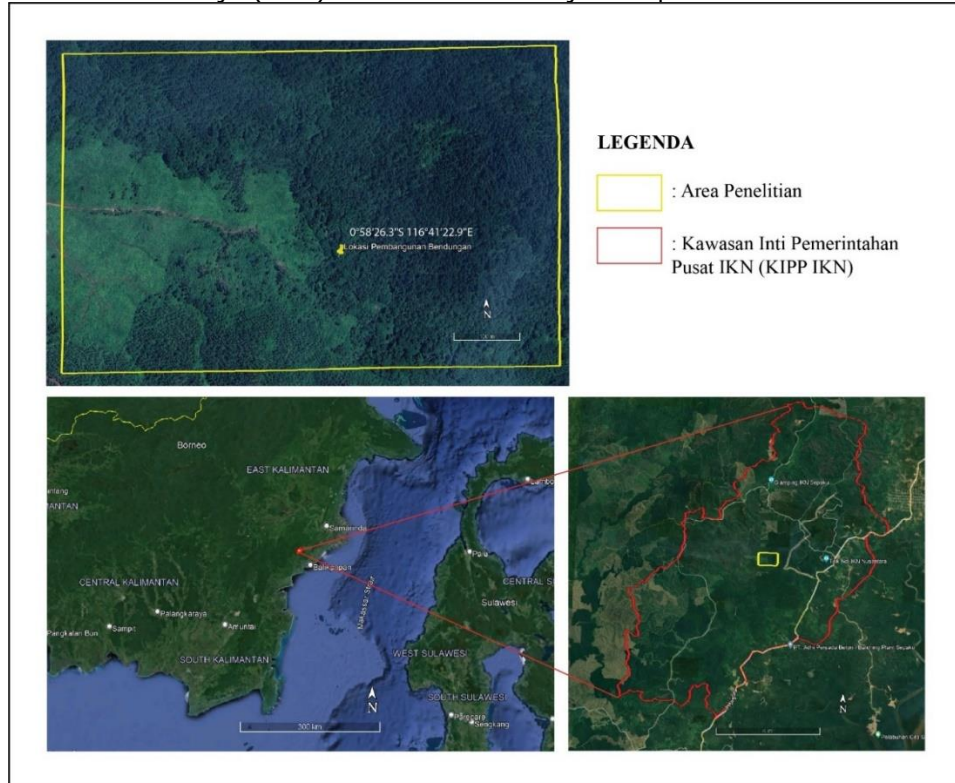
(Dharmayasa, 2018). Salah satu faktor analisis penting untuk pembangunan bendungan adalah analisis rembesan yang terjadi. Rembesan yang terjadi baik pada tubuh bendungan atau melalui pondasi bendungan telah menyebabkan lebih dari sepertiga kejadian dari keruntuhan bendungan (Anonim, 1999). Rembesan yang melebihi batas aman dapat mengakibatkan erosi internal yang memicu bahaya *piping*. *Piping* sendiri merupakan keadaan dimana material halus akan terangkut dan membentuk pipa-pipa halus di dalam tanah yang disebabkan oleh tekanan rembesan ke atas yang terjadi di tanah sama dengan nilai gradien kritis materialnya (Hardiyatmo,

2002). *Piping* dapat mengganggu stabilitas serta terjadinya kegagalan bendungan (Pramudawati, 2020). Hal tersebut dikarenakan pembentukan pipa-pipa akibat terbawanya material halus oleh air rembesan dapat menggerus tubuh bendungan atau tanah dibawah bendungan dan dapat menyebabkan keruntuhan bendungan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besaran debit rembesan yang dapat terjadi di tubuh bendungan Kolam Retensi X pada saat kondisi Muka Air Rendah (MAR), Muka Air Normal (MAN) dan Muka Air Banjir (MAB).

METODOLOGI

Objek dan Lokasi Penelitian

Objek dalam penelitian ini merupakan tubuh bendungan yang ada di Kolam Retensi X, DAS Sanggai, IKN. Lokasi penelitian secara administratif berada di Kelurahan Pemaluan, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur. Lokasi tersebut merupakan bagian dari Kawasan Inti Pusat Pemerintahan (KIPP) Ibu Kota Nusantara. Secara geografis Kolam Retensi X ini terletak antara 0°58'26.3" S dan 116°41'23.9" E. Lokasi lebih detail ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Lokasi Rencana Pembangunan Kolam Retensi X

Persamaan Dasar

Hukum Darcy merupakan teori dasar yang digunakan dalam menentukan besaran rembesan. Hukum Darcy menyatakan bahwa gradien hidraulik dari lapisan media berpori menentukan jumlah kecepatan aliran yang masuk atau keluar dari lapisan tersebut (Hardiyatmo, 2002). Berikut merupakan formulasi dari hukum Darcy:

$$Q = v \cdot A \quad (1)$$

$$v = k \cdot i \quad (2)$$

$$Q = k \cdot i \cdot A \quad (3)$$

Keterangan

Q = laju aliran air (cm³/dt)

v = kecepatan air (cm/dt)

k = koefisien permeabilitas

i = gradien hidraulik (cm/dt)

A = luas penampang (cm²)

Pada penelitian ini akan digunakan metode grafis dengan penggambaran flow net dan

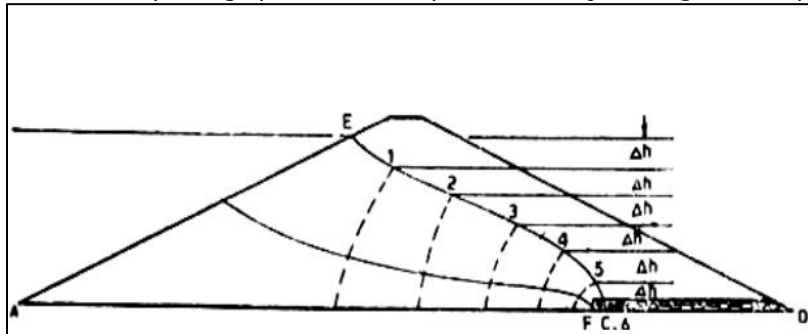
akan dibandingkan dengan metode numerik dengan bantuan *software* Geostudio SEEP/W 2012 (*Student License*). *Flow net* dapat memberikan visualisasi yang kuat tentang tekanan dan kuantitas aliran pada daerah aliran yang terbentuk jika kondisi batas dan geometri daerah aliran ditampilkan (USACE, 1993).

Dalam menggambar *flow net* dilakukan dengan *trial and error* hingga mencapai kurang lebih bentuk idealnya dan prinsip dasar yang harus dipenuhi adalah gambar garis aliran dan garis ekipotensial yang menyusun *flow net* diusahakan untuk saling berpotongan tegak lurus (orthogonal) (Hardiyatmo, 2002). Kemudian garis yang saling berpotongan tersebut akan membentuk bidang-bidang yang mendekati bujur sangkar.

Penggambaran garis aliran dapat dimulai di setiap titik dimana air mulai merembes dan tiap garis aliran tersebut mempunyai nilai k yang sama. Garis ekuipotensial adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan tinggi potensial dan ketika dipasang piezometer

pada garis ekuipotensial yang sama akan menunjukkan gradien hidraulik yang sama juga. (Anonim, 2017)

Pada **Gambar 3** terlihat garis penuh yang menunjukkan garis aliran dan garis putus-putus menunjukkan garis ekuipotensial.



Gambar 3. Contoh *flow net* (Anonim, 2017)

Persamaan yang dapat digunakan untuk mencari besaran debit rembesan menggunakan *flow net* adalah sebagai berikut:

$$q = kH \frac{N_f}{N_d}$$

(4)

Dengan :

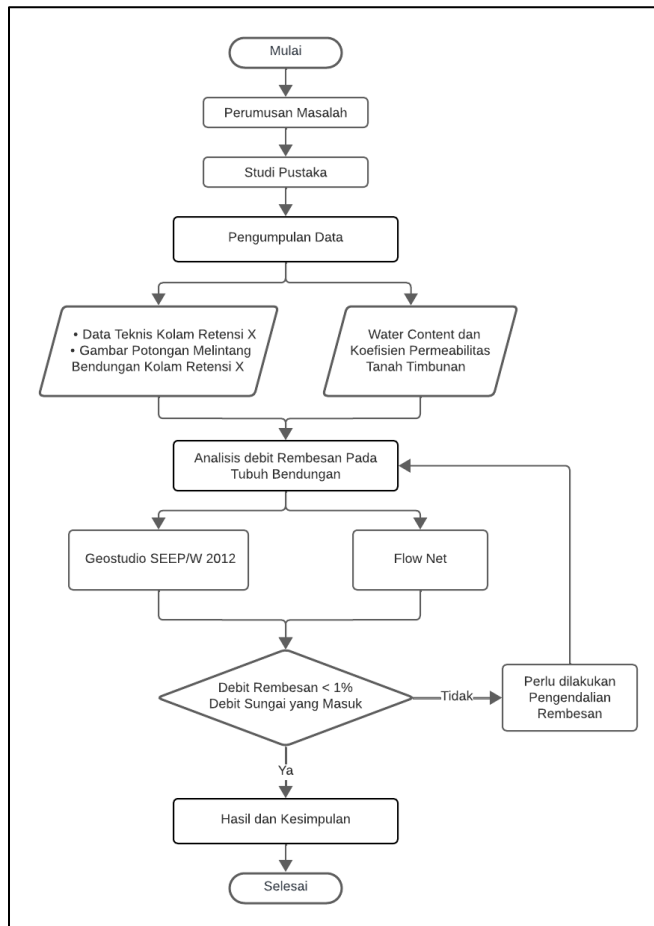
k = koefisien permeabilitas

H = selisih dari hilangnya energi potensial (perbedaan muka air hulu dan hilir)

N_f = jumlah dari saluran aliran (*flow channel*)

N_d = jumlah dari bidang yang kehilangan energi potensial (*potensial drop*)

Tahapan Penelitian



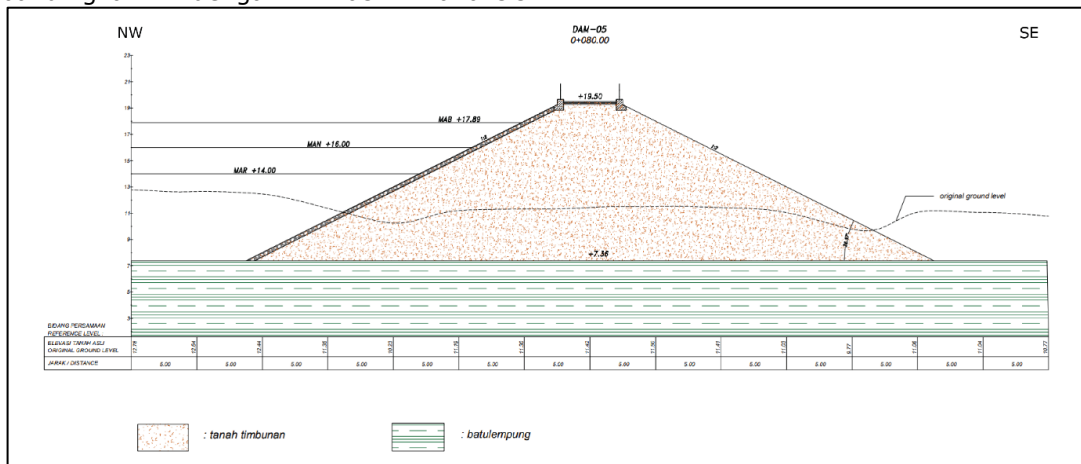
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah dan studi pustaka. Kemudian dilanjutkan dengan kegiatan pengumpulan data. Data yang dikumpulkan antara lain data teknis Kolam Retensi X, gambar potongan melintang bendungan Kolam Retensi X dan hasil uji laboratorium. Hasil uji laboratorium disini berupa nilai *water content* dan koefisien permeabilitas dari tanah material timbunan. Setelah data terkumpul selanjutnya data akan diproses menggunakan *software* Geostudio SEEP/W 2012 (*Student License*) untuk mendapatkan nilai debit rembesan pada tubuh bendungan yang kemudian dibandingkan dengan hasil analisis

menggunakan metode grafis dengan penggambaran *flow net*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potongan melintang bendungan yang akan digunakan pada analisis ini adalah ST.80 dengan elevasi puncak bendungan +19.50 m dan elevasi dasar +7.36 m. Bagian ini diambil karena pada ST.80 memiliki elevasi dasar bendungan paling dalam di antara bagian yang lain. Kondisi yang akan dianalisis adalah ketika kondisi Muka Air Rendah (EL. +14,00), Muka air Normal (EL. +16.00), dan Muka Air Banjir (EL. +17.94).



Gambar 5. Cross Section Bendungan Kolam Retensi X ST.80
(Konsultan Perencana, 2023)

Bandungan pada Kolam Retensi X ini merupakan bendungan dengan tipe timbunan tanah homogen dengan material yang termasuk dalam klasifikasi USCS sebagai tanah lempung berplastisitas rendah (CL). Material tanah timbunan ini memiliki nilai permeabilitas (k) sebesar $2.21 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$ dan *water content* sebesar 25.79 %. Kedua nilai tersebut akan menjadi parameter yang di *input* untuk analisis rembesan. Berdasarkan data kolam retensi yang dikumpulkan diketahui debit inflownya sebesar $93.10 \text{ m}^3/\text{det}$. Kemudian pada buku Pedoman Grouting Untuk Bendungan (2005) disebutkan bahwa besaran debit rembesan yang terjadi (Q_{izin}) di bendungan tidak boleh melebihi 1% rata-rata debit sungai yang masuk ke bendungan sehingga besaran Q_{izin} adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{izin} &= 0.01 \times \text{Debit Inflow} \\ &= 0,01 \times 93.10 \\ &= 0.931 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Analisis Debit Rembesan Menggunakan Geostudio SEEP/W 2012 (*Student License*)

Analisis debit rembesan menggunakan Geostudio SEEP/W dilakukan pada kondisi *steady-state* yang mana menggambarkan

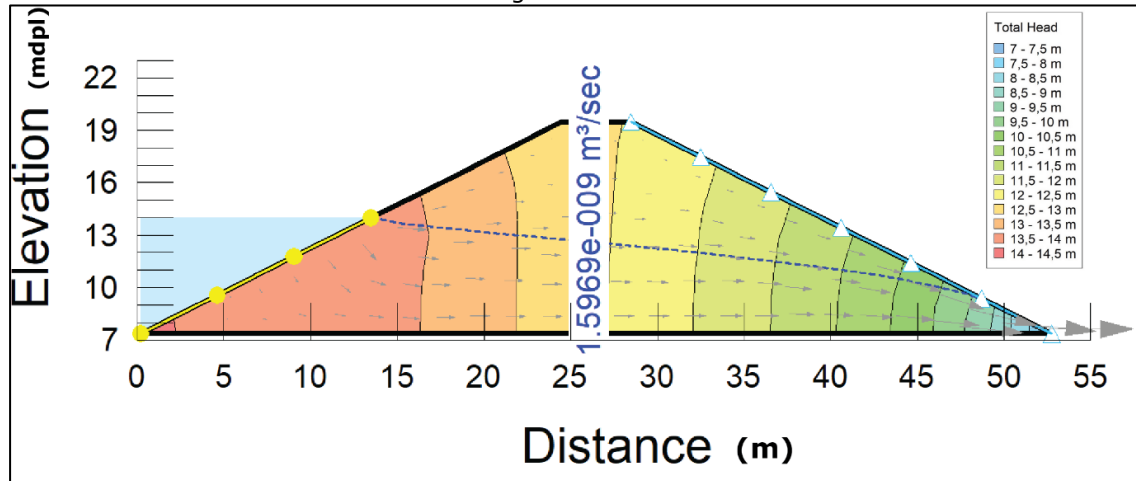
situasi model dalam kondisi stabil dan tidak adanya perubahan seiring waktu (Anonim, 2012). Pada kondisi tersebut dapat diidentifikasi area potensial di bendungan untuk pengendalian rembesan. Kemudian dengan memasukkan *boundary condition*, nilai *water content* dan koefisien permeabilitas pada model tubuh bendungan yang sebelumnya sudah dibuat maka didapatkan hasil analisis debit rembesan pada tubuh bendungan Kolam Retensi X sebagai berikut:

a. Kondisi Muka Air Rendah (MAR)

Debit rembesan pada kondisi Muka Air Rendah (EL. +14.00) adalah $1.6 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$. Garis freatik di hulu dan hilir bendungan berada pada posisi rendah dan gradien hidrauliknya juga rendah karena perbedaan elevasi air di hulu dan hilirnya tidak terlalu besar. Warna yang ada pada tubuh bendungan tersebut menunjukkan kontur dari nilai tinggi total tekan (*total head*) dengan rentang otomatis dari hasil Geostudio SEEP/W 2012. Tekanan yang paling besar terjadi di hulu dengan kontur warna merah dan semakin menuju hilir maka tekanannya semakin rendah. Pada kondisi muka air ini memiliki distribusi warna kontur yang lebih sempit dengan dominasi warna memiliki

tekanan rendah. Nilai tinggi total tekan ini berkisar antara 7.34 m – 14 m dengan

pembagian warna tiap penambahan tinggi total tekan 0.5 m.

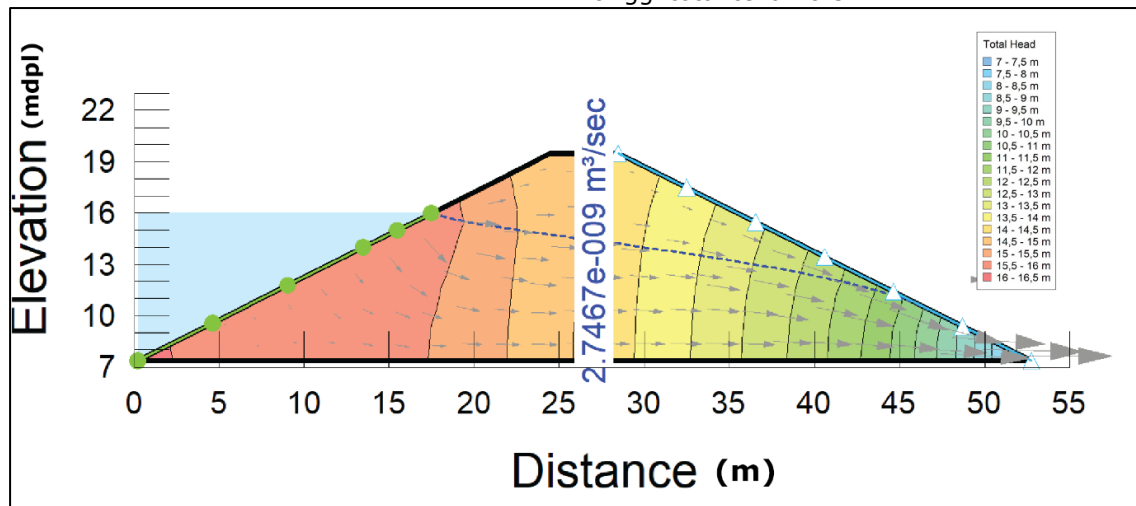


Gambar 6. Hasil Analisis Debit Rembesan Kondisi MAR Menggunakan SEEP/W

b. Kondisi Muka Air Normal (MAN)

Debit rembesan pada kondisi Muka Air Normal (EL. +16.00) adalah $2.75 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$. Garis freatik di hulu dan hilir bendungan berada pada posisi lebih tinggi dari Muka Air Rendah (MAR) dan gradien hidrauliknya juga memiliki nilai yang lebih kecil daripada di Muka Air Rendah (MAR). Tekanan yang paling

besar terjadi di hulu dengan kontur warna merah dan semakin menuju hilir maka tekanannya semakin rendah. Pada kondisi muka air ini memiliki distribusi warna kontur yang seimbang dengan campuran warna yang memiliki tekanan menengah. Nilai tinggi total tekannya berkisar antara 7.34 m – 16 m dengan pembagian warna tiap penambahan tinggi total tekan 0.5 m.

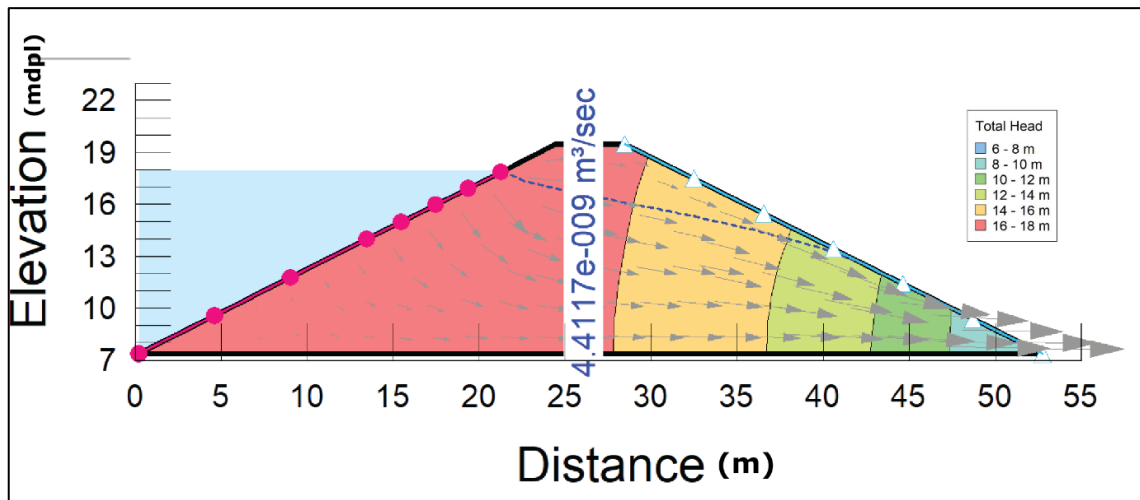


Gambar 7. Hasil Analisis Debit Rembesan Kondisi MAN Menggunakan SEEP/W

c. Kondisi Muka Air Banjir (MAB)

Debit rembesan pada kondisi Muka Air Rendah (EL. +17.94) adalah $4.41 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$. Garis freatik di hulu dan hilir bendungan berada pada posisi paling tinggi diantara kedua kondisi muka air sebelumnya. Gradien pada kondisi ini memiliki nilai paling besar diantara kedua kondisi muka air sebelumnya karena perbedaan elevasi air yang cukup besar di hulu dan hilirnya. Tekanan yang

paling besar terjadi di hulu dengan kontur warna merah dan semakin menuju hilir maka tekanannya semakin rendah. Pada kondisi muka air ini memiliki distribusi warna kontur yang lebih lebar dengan dominasi warna yang memiliki tekanan tinggi seperti warna merah dan orange. Nilai tinggi total tekannya berkisar antara 7.34 m – 17.94 m dengan pembagian warna tiap penambahan tinggi total tekan 2 m.



Gambar 8. Hasil Analisis Debit Rembesan Kondisi MAB Menggunakan SEEP/W

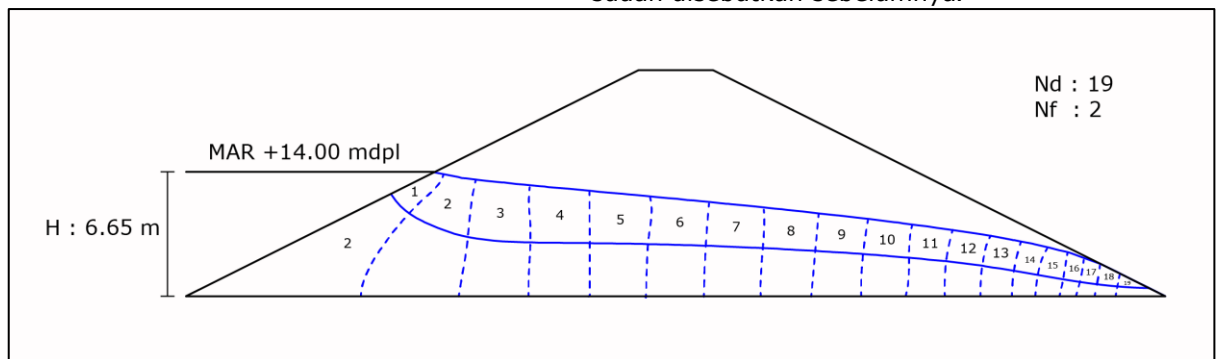
Analisis Debit Rembesan Menggunakan Flow Net

Data hasil laboratorium yang digunakan dalam perhitungan debit rembesan pada tubuh bendungan dengan metode *flow net* adalah koefisien permeabilitas dari material timbunan sebesar $2.21 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det m}/\text{detik}$. Berikut merupakan hasil perhitungan debit

rembesan menggunakan *flow net* pada tiap kondisi:

a. Kondisi Muka Air Rendah (MAR)

Berikut ini merupakan hasil *try and error* penggambaran garis aliran dan garis ekuipotensial yang membentuk suatu jaring aliran pada kondisi Muka Air Rendah (MAR) dengan memperhatikan prinsip dasar yang sudah disebutkan sebelumnya.



Gambar 9. Sketsa Flow Net Pada Kondisi MARET

Jumlah saluran aliran (Nf) dari gambar tersebut adalah 2 dan kehilangan energi total (H) adalah 6.65 meter. Kemudian diketahui jumlah bidang kehilangan energi potensial (Nd) adalah 19. Jadi, besarnya debit rembesan adalah sebagai berikut:

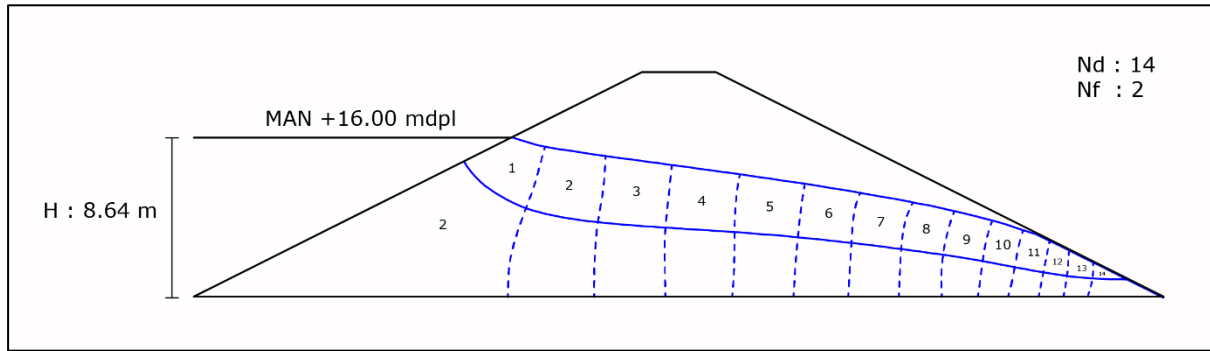
$$q = kH \frac{Nf}{Nd}$$

$$q = 2.21 \times 10^{-9} \times 6.65 \times \frac{2}{19}$$

$$q = 1.55 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$$

b. Kondisi Muka Air Normal (MAN)

Berikut ini merupakan hasil *try and error* penggambaran garis aliran dan garis ekuipotensial yang membentuk suatu jaring aliran pada kondisi Muka Air Normal (MAN) dengan memperhatikan prinsip dasar yang sudah disebutkan sebelumnya.



Gambar 10. Sketsa *Flow Net* Pada Kondisi MAN

Jumlah saluran aliran (N_f) dari gambar diketahui 2 dengan kehilangan energi total (H) adalah 8.64 meter. Kemudian diketahui jumlah bidang kehilangan energi potensial (N_d) adalah 14. Jadi, besarnya debit rembesan adalah sebagai berikut:

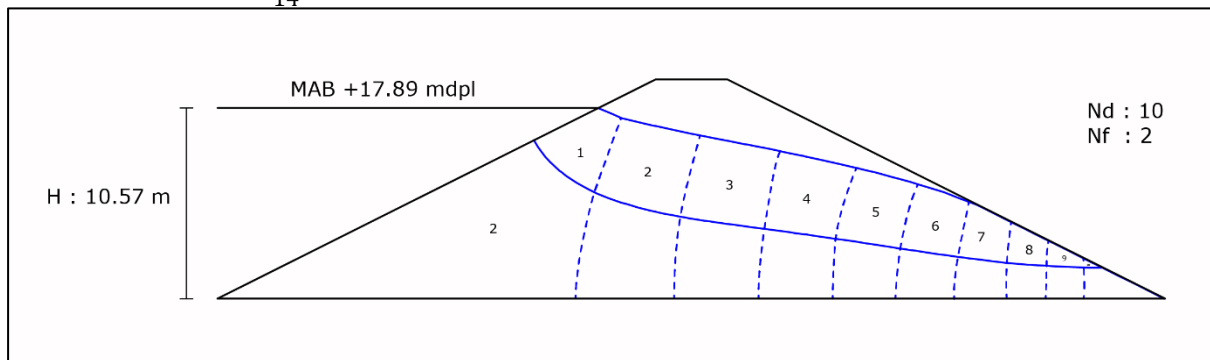
$$q = kH \frac{Nf}{Nd}$$

$$q = 2.21 \times 10^{-9} \times 8.64 \times \frac{2}{14}$$

$$q = 2.72 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$$

c. Kondisi Muka Air Banjir (MAB)

Berikut ini merupakan hasil *try and error* penggambaran garis aliran dan garis ekuipotensial yang membentuk suatu jaringan aliran pada kondisi Muka Air Banjir (MAB) dengan memperhatikan prinsip dasar yang sudah disebutkan sebelumnya.



Gambar 11. Sketsa Flow Net Pada Kondisi MAB

Jumlah saluran aliran (N_f) diketahui 2 dan kehilangan energi total (H) adalah 10.57 meter. Kemudian diketahui jumlah bidang kehilangan energi potensial (N_d) adalah 10. Jadi, besarnya debit rembesan adalah sebagai berikut:

$$q = kH \frac{Nf}{Nd}$$

$$q = 2.21 \times 10^{-9} \times 10.57 \times \frac{2}{10}$$

$$q = 4.67 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{det}$$

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Debit Rembesan

Kondisi	Debit Rembesan (q) (m ³ /det)	
	SEEP/W	Flow Net
MAR	1.6×10^{-9}	1.55×10^{-9}
MAN	2.75×10^{-9}	2.72×10^{-9}
MAB	4.41×10^{-9}	4.67×10^{-9}

Jika dilihat secara keseluruhan, debit rembesan pada Muka Air Rendah (MAR) memiliki nilai yang paling kecil dan nilai debit rembesan pada kondisi Muka Air Banjir (MAB) memiliki nilai yang paling besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi muka air yang ada di dalam bendungan maka

akan semakin besar juga debit rembesan yang terjadi. Hal tersebut sesuai dengan hukum Darcy yang menyatakan bahwa aliran yang ada di dalam tanah dipengaruhi oleh gradien hidrauliknya yaitu elevasi muka air pada bendungan.

Rembesan yang terjadi pada sebuah bendungan akan membentuk suatu garis yang disebut garis freatik. Garis freatik akan memisahkan bagian yang mengalami rembesan dan yang tidak mengalami rembesan. Dapat dikatakan garis freatik ini merupakan garis batas dari kejenuhan pada bendungan. Bagian yang berada di bawah garis freatik merupakan bagian jenuh dari bendungan dan dilewati oleh rembesan. Dapat dilihat juga hasil garis aliran yang terbentuk pada kondisi Muka Air Rendah (MAR), Muka Air Normal (MAN), dan Muka Air Banjir (MAB) memiliki hasil yang berbeda. Semakin rendah muka air nya maka semakin rendah pula garis freatik di hulu dan hilir bendungan.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Geostudio SEEP/W 2012 dan penggambaran

flow net didapatkan hasil debit rembesan dengan selisih yang sangat kecil. Hasil debit rembesan pada Muka Air Rendah (MAR) dan Muka Air Normal (MAN) dengan menggunakan Geostudio SEEP/W 2012 nilainya lebih besar daripada hasil *flow net*. Kemudian pada kondisi Muka Air Banjir (MAB), hasil debit rembesan berdasarkan *flow net* lebih besar daripada Geostudio SEEP/W 2012.

Untuk mengetahui apakah debit rembesan yang terjadi masih dalam batas aman maka perlu diketahui debit rembesan total (q_{tot}) dengan mengalikan debit rembesan dan panjang bendungan. Panjang bendungan diketahui sebesar 145 m sehingga besarnya q_{tot} dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Debit Rembesan Total

Kondisi	$q_{tot} (m^3/det)$	
	SEEP/W	Flow Net
MAR	2.32×10^{-7}	2.25×10^{-7}
MAN	3.99×10^{-7}	3.94×10^{-7}
MAB	6.39×10^{-7}	6.77×10^{-7}

Dari hasil rekapitulasi tersebut dapat dilihat bahwa debit rembesan yang ada di bendungan baik dalam Muka Air Rendah (MAR), Muka Air Normal (MAN), dan Muka Air Banjir (MAB) memiliki nilai lebih kecil daripada debit rembesan yang diizinkan yaitu lebih kecil dari $0.931 m^3/det$ sehingga tubuh bendungan Kolam Retensi X ini aman terhadap rembesan yang terjadi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Geostudio SEEP/W 2012, debit rembesan pada tubuh bendungan Kolam Retensi X pada kondisi Muka Air Rendah (MAR) sebesar $1.6 \times 10^{-9} m^3/det$, Muka Air Normal (MAN) sebesar $2.75 \times 10^{-9} m^3/det$, dan Muka Air Banjir sebesar $4.41 \times 10^{-9} m^3/det$. Dari ketiga kondisi tersebut dapat dilihat bahwa debit rembesan yang melewati tubuh bendungan meningkat seiring dengan meningkatnya elevasi muka air.

Hasil dari analisis debit rembesan yang didapatkan baik menggunakan *software* Geostudio SEEP/W 2012 maupun metode grafis dengan penggambaran *flow net* memiliki selisih yang sangat kecil dan tidak memiliki perbedaan signifikan. Kemudian debit rembesan total yang diperoleh masih jauh lebih kecil dibandingkan dengan debit rembesan yang diizinkan sehingga tubuh bendungan Kolam Retensi X dapat dikatakan aman dari rembesan yang terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT serta mengucapkan terima kasih terhadap berbagai pihak yang membantu kelancaran penelitian ini diantaranya, kepada Balai Wilayah Sungai Kalimantan IV yang memberikan izin untuk penggunaan dan pengambilan data di Kolam retensi X ini dan Fakultas Teknik Geologi yang memberikan izin untuk melakukan penelitian tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1999). *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Vol.III: Desain Pondasi dan Tubuh Bendungan*. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan.
- Anonim. (2005). *Pedoman Grouting untuk Bendungan*. Direktorat Sungai dan Waduk, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Anonim. (2012). *Seepage Modeling with SEEP/W*. <http://www.geo-slope.com>
- Anonim. (2017). *Modul Analisa Stabilitas Bendungan: Perhitungan Rembesan*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Anonim. (2021). *Buku Saku Pemindahan Ibu Kota Negara*. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional Republik Indonesia.

- Anonim. (2023). OIKN dan PUPR Siapkan Infrastruktur Mitigasi Banjir. *Diakses Pada 15 Februari 2024 Di* <https://www.ikn.go.id/storage/press-release/2023/20230320.Siaran-Pers-Oikn-Dan-Pupr-Siapkan-Infrastruktur-Mitigasi-Banjir.Pdf>.
- BWS Kalimantan IV. (2023). *Progres Pengadaan Tanah & Pembangunan Infrastruktur Kawasan Ibu Kota Negara*.
- Dharmayasa, I. G. N. P. (2018). Analisis Rembesan Di Bawah Tubuh Bendungan Urugan. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 7(1), 53–62.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I* (Ketiga). Gadjah Mada University Press.
- Konsultan Perencana. (2023). *Gambar Rencana Kolam Retensi TR.01*. Konsultan Perencana, Proyek Pengendalian Banjir DAS Sanggai 1A Lanjutan.
- Pemerintah Indonesia. (2022). *Undang-undang (UU) Nomor 3 Tahun 2022 tentang Ibu Kota Negara*.
- Pramudawati, M. A. H. (2020). Penilaian Risiko Keamanan Bendungan di Jawa Timur. *JURNAL TEKNIK HIDRAULIK*, 11(2), 93–102. <https://doi.org/10.32679/jth.v11i2.631>
- Soeseno, A. H. (2022). Estimasi Potensi Air Tanah Penajam untuk Mendukung Kebutuhan Air Bersih IKN di Penajam Kalimantan Timur. *Urnl Sains Dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 16(2), 1–11.
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1977). *Bendungan Tipe Urugan*. PT Pradnya Paramita.
- Syofyan, Z. (2022). Kolam Retensi Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Batang Pangian. *Rang Teknik Journal*, 5(1), 124–136. <https://doi.org/10.31869/rtj.v5i1.2856>
- USACE. (1993). Engineering Manual "Seepage Analysis and Control for Dams." *U.S. Army Corps of Engineers, EM 1110-2-1901*.