

KAJIAN *SPILLWAY ROUTING* PADA KONSTRUKSI BANGUNAN AIR DENGAN SISTEM *POND* UNTUK OPTIMALISASI PENGENDALIAN BANJIR DI KAWASAN INDUSTRI

(Study of Spillway Routing in Water Building Construction with Pond Systems to Optimize Flood Control in Industrial Areas)

Miskar Maini^{1,2}, Junita Eka Susanti^{1,2}

¹Departemen Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera

²Pusat Riset Infrastruktur Berkelanjutan, Institut Teknologi Sumatera

E-mail: miskar.maini@si.itera.ac.id

Diterima 28 Agustus 2024, Disetujui 3 September 2025

ABSTRAK

Pond merupakan struktur kunci dalam strategi pengendalian banjir, terutama di kawasan industri yang memiliki kerentanan tinggi terhadap limpasan air berlebih. Risiko utama yang dihadapi adalah potensi meluapnya air dari pond, yang dapat menimbulkan kerusakan serius di wilayah hilir, termasuk risiko kegagalan tanggul dan kerusakan pada spillway. Oleh karena itu, pengendalian ketinggian muka air dalam pond menjadi sangat penting, terutama dalam menghadapi peristiwa banjir dengan intensitas tinggi. Ketika ketinggian air mencapai ambang batas yang ditentukan, air dalam pond harus dialirkan secara terkontrol ke saluran drainase melalui spillway. Penelitian ini menggunakan metode HSS Nakayasu untuk memperkirakan debit banjir yang masuk ke dalam pond, sedangkan perhitungan spillway routing dilakukan berdasarkan kapasitas tampungan pond dan desain spillway yang direncanakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit banjir yang masuk ke dalam pond pada berbagai kala ulang yaitu 5, 10, 20, 25, 50, dan 100 tahun, berkisar antara 19,53 m³/s hingga 33,78 m³/s. Debit outflow dari spillway bervariasi dari 5,03 m³/s hingga 8,68 m³/s pada kala ulang yang sama. Ketinggian muka air banjir maksimum di atas spillway bervariasi dari 0,90 m hingga 1,30 m, dengan kenaikan elevasi muka air dari dasar pond (elevasi +22,00 m) mencapai +24,90 m hingga +25,30 m. Hasil perhitungan lebih lanjut menunjukkan bahwa pada kala ulang 100 tahun, pond mampu mereduksi debit banjir hingga 74%, dengan 26% debit banjir dialirkan secara bertahap melalui spillway dan saluran drainase menuju sungai. Efektivitas spillway dalam mengurangi risiko overtopping menegaskan bahwa pond ini berfungsi sebagai solusi mitigasi banjir yang andal untuk kawasan industri pabrik Sepatu di Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah.

Kata Kunci: Spillway Routing, Pond, HSS Nakayasu, Debit Banjir

ABSTRACT

Ponds are key structures in flood control strategies, especially in industrial areas which have a high vulnerability to excess air runoff. The main risk faced is the potential for air overflow from the pond, which could cause serious damage downstream, including the risk of embankment failure and damage to the spillway. Therefore, controlling the water level in the pond is very important, especially in dealing with high-intensity flooding events. When the water level reaches the specified threshold, the water in the pool must flow in a controlled to the drainage channel through the spillway. This research uses the HSS Nakayasu method to estimate flood discharge entering the pond. At the same time, the calculation of the spillway is carried out based on the reservoir capacity of the pond and the planned spillway design. The research results show that the flood discharge entering the pond at various return periods, namely 5, 10, 20, 25, 50, and 100 years, ranges from 19.53 m³/s to 33.78 m³/s. The discharge from the spillway varies from 5.03 m³/s to 8.68 m³/s at the same return period. The maximum flood water level above the spillway varies from 0.90 m to 1.30 m, with the increase in water level from the bottom of the pond (elevation +20.00 m) reaching +24.90 m to +25.30 m. Further calculation results show that at a return period of 100 years, the pond is able to reduce flood discharge by up to 74%, with 26% of the flood discharge being channeled gradually through spillways and drainage channels to the river. The effectiveness of the spillway in reducing the risk of runoff confirms that this pond functions as a reliable flood mitigation solution for the shoe factory industrial area in Pekalongan Regency, Central Java Province.

Keywords: Spillway Routing, Pond, HSS Nakayasu, Flood Discharge

PENDAHULUAN

Kawasan industri pabrik sepatu di Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah, telah mengalami perkembangan yang pesat. Dengan bertambahnya jumlah bangunan gedung maupun infrastruktur lainnya dan kegiatan industri, kebutuhan akan pengelolaan air yang efektif menjadi semakin mendesak. Salah satu elemen kunci dalam pengelolaan air di kawasan industri ini adalah sistem *pond* (kolam) yang dirancang untuk mengatur aliran air hujan dan limpasan air agar tidak menyebabkan banjir atau kerusakan lingkungan di sekitarnya (Maini & Mashuri, 2020, 2019). Dalam memprediksi debit banjir diperlukan model transformasi curah hujan menjadi limpasan yang dapat diterapkan secara luas untuk memperkirakan debit banjir yang terjadi di kawasan (Ansori & Anwar, 2022; Fang & Shao, 2022; Harun dkk., 2007, 2012; Jehanzaib dkk., 2022; Reddy dkk., 2023; Riad dkk., 2004; Saefulloh dkk., 2018; Xu dkk., 2021).

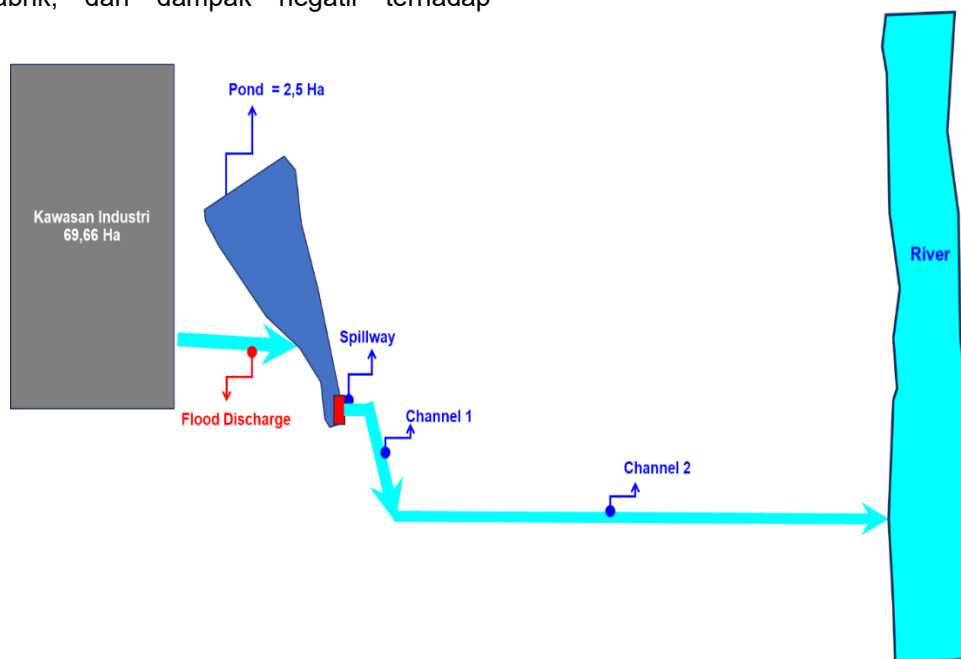
Spillway atau saluran pelimpah pada sistem *pond* memainkan peran penting dalam mengendalikan aliran air yang berlebihan, terutama selama periode hujan deras. Desain *spillway* yang tidak adaptif dapat menyebabkan kegagalan pada konstruksi bangunan air seperti tanggul *pond* dan bangunan *spillway*, selain itu dapat berakibat terhadap kerusakan infrastruktur bangunan lainnya yang berada di hilir, gangguan operasional pabrik, dan dampak negatif terhadap

lingkungan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, diperlukan kajian teknis yang mendalam untuk memastikan bahwa desain *spillway* ini mampu mengakomodasi variasi debit air secara efektif dan aman.

Kajian teknis ini bertujuan untuk mengevaluasi dan merancang *spillway* pada konstruksi bangunan air dengan sistem *pond* di kawasan industri pabrik sepatu di Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah, dengan mempertimbangkan kondisi hidrologi setempat, kapasitas *pond*, serta potensi dampak terhadap kawasan sekitar. Dengan demikian, hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain yang optimal untuk pengelolaan air yang berkelanjutan di kawasan industri tersebut.

METODE

Kajian *spillway routing* pada sistem *pond* ini dilakukan pada studi kasus Pembangunan *Pond* di kawasan industri pabrik sepatu, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah, luas area industri sebesar 69,66 Ha dan luas *pond* sebesar 2,5 Ha (lihat Gambar 1). Metode penelitian yang dilaksanakan dalam studi ini ada beberapa tahapan, seperti pengumpulan data primer maupun sekunder, analisis hidrologi, perhitungan debit banjir, serta penelusuran banjir. Berikut adalah narasi dari tahapan-tahapan metodologi penelitian yang dilakukan:



Gambar 1. Siteplan pembangunan *pond* di kawasan industri pabrik sepatu, Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah, Indonesia

Pengumpulan Data Curah Hujan

Data curah hujan harian merupakan komponen fundamental dalam analisis hidrologi, khususnya dalam penelitian ini yang fokus pada pengendalian banjir di kawasan industri pabrik sepatu, Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah. Data yang digunakan mencakup curah hujan harian selama 10 tahun terakhir, yang diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat. Analisis

terhadap data ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola curah hujan di kawasan penelitian, yang kemudian akan digunakan sebagai input dalam model hidrologi untuk memprediksi debit banjir dan mengevaluasi efektivitas pengendalian banjir oleh *pond* di area tersebut.

Perhitungan Hujan Rancangan Menggunakan Analisis Frekuensi

Tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah melakukan analisis frekuensi curah hujan untuk memperoleh hujan rancangan dengan berbagai kala ulang (*return period*), seperti 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Analisis ini penting untuk memperkirakan besaran curah hujan maksimum yang berpotensi menyebabkan debit banjir signifikan, sebagaimana telah banyak diterapkan dalam penelitian bidang hidrologi (Gunawan dkk., 2020). Metode yang digunakan dalam analisis frekuensi ini meliputi metode Gumbel, Log Pearson Type III, atau metode lain yang relevan dengan karakteristik data yang tersedia. Hasil dari analisis ini, yakni hujan rancangan, akan digunakan sebagai input utama dalam perhitungan debit banjir rancangan, yang pada akhirnya akan menjadi dasar dalam evaluasi efektivitas sistem pengendalian banjir di kawasan penelitian.

Perkiraan Debit Banjir dengan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Metode Nakayasu

Salah satu tantangan dalam model analisis hidrologi untuk menentukan debit puncak banjir pada suatu hidrograf adalah keterbatasan data terukur pada beberapa Daerah Aliran Sungai (DAS) atau kawasan Daerah Tangkapan Air (DTA). Kondisi ini memerlukan pengembangan pendekatan alternatif, salah satunya adalah dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) yang didasarkan pada karakteristik terukur dari daerah tangkapan (Chow, 1965; Herrmann & Bucksch, 2014; Sherman, 2010; Triatmodjo, 2013).

Dalam penelitian ini, metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu dipilih sebagai metode analisis utama. Metode ini dikenal karena kemampuannya dalam memberikan estimasi yang cukup baik terhadap debit puncak dan karakteristik hidrograf banjir berdasarkan hujan rancangan, tanpa memerlukan data yang sangat rinci tentang karakteristik fisik DAS atau DTA. Proses perhitungan melibatkan konversi hujan rancangan menjadi debit banjir melalui serangkaian persamaan yang menghubungkan intensitas hujan, luas DAS atau DTA, serta karakteristik fisik daerah tangkapan air. Pendekatan ini memungkinkan perhitungan yang lebih efisien dan dapat diterapkan pada DAS maupun kawasan DTA dengan data yang terbatas, sehingga hasilnya tetap relevan untuk perencanaan dan pengelolaan banjir di kawasan penelitian.

HSS Nakayasu, yang dikembangkan berdasarkan penelitian karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) alami di Jepang, telah menjadi salah satu metode yang penting dalam analisis hidrologi. Hidrograf ini diekspresikan dengan membandingkan debit banjir (Q) dengan debit puncak banjir (Q_{peak}), serta waktu hidrograf (t) dengan waktu naik (T_p), yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik. Dalam metode ini, perhitungan debit dari lengkung kurva naik hingga turun dihitung dengan persamaan yang berbeda, di mana parameter nilai α sebagai parameter kontrol dalam menentukan debit puncak banjir.

Perhitungan untuk mempekirakan debit banjir dengan metode HSS seperti HSS Nakayasu dapat diaplikasikan pada studi kasus banjir di Indonesia (Adoe dkk., 2022; Andayani & Umari, 2022; Ansori dkk., 2023; Buana dkk., 2022; Damayanti dkk., 2022; Seran dkk., 2020). Selain itu, metode ini juga digunakan secara luas dalam perencanaan embung dan bendungan di Indonesia, sebagaimana yang dilakukan oleh beberapa peneliti (Aditiya dkk., 2023; Budiarto dkk., 2023; Darmawan dkk., 2022; Janatha & Soebagio, 2021; Mashuri dkk., 2022; Sarminingsih, 2018; Ujianto dkk., 2022). Keberhasilan metode ini dalam berbagai studi menunjukkan fleksibilitas dan keandalannya dalam mengatasi tantangan yang dihadapi dalam pengelolaan sumber daya air di berbagai kondisi DAS atau DTA.

Perkiraan debit banjir metode HSS Nakayasu ini dihitung dari beberapa interval waktu dengan beberapa penyelesaian yang berbeda antara kurva hidrograf naik dan kurva hidrograf turun, agar hidrograf satuan sintetis dapat mengikuti bentuk hidrograf terukur dapat dilakukan dengan cara *trial and error* pada faktor α , (Mashuri dkk., 2022). Namun dalam penelitian ini tidak dilakukan *trial and error* pada faktor α dikarenakan tidak tersedianya data hidrograf terukur.

Data karakteristik fisik DAS atau DTA yang diperlukan untuk membuat HSS Nakayasu ini seperti panjang sungai utama atau saluran (L). dan luas DTA (A). Sedangkan untuk menghitung T_p (waktu puncak) dan T_g (*time lag*) dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) hingga (3):

$$T_g = 0,21L^{0,7} \text{ jika } L < 15 \text{ km} \quad (1)$$

$$T_g = 0,4 + 0,058L \text{ jika } L > 15 \text{ km} \quad (2)$$

$$T_p = T_g + 0,8T_r \quad (3)$$

Tahap selanjutnya menetapkan hujan efektif (R_e) sebesar 1 mm dan debit banjir puncak (Q_p) dapat dihitung menggunakan Persamaan (4):

$$Q_p = \frac{AR_e}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (4)$$

di mana $T_{0,3}$ merupakan durasi penurunan debit puncak hingga mencapai 30% sehingga nilai $T_{0,3}$ dapat diperoleh dari perhitungan $T_{0,3} = \alpha T_g$.

Dalam perhitungan debit banjir menggunakan metode HSS Nakayasu dihitung menjadi 4 bagian, yaitu:

a. Untuk kurva hidrograf naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_p = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (5)$$

b. untuk kurva hidrograf turun

• untuk $t \leq (T_p + T_{0,3})$

$$Q_{t1} = Q_p 0,3^{\left(\frac{tT_p}{T_{0,3}}\right)} \quad (6)$$

• untuk $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p 0,3^{\left(\frac{tT_p + 0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}\right)} \quad (7)$$

• untuk $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p 0,3^{\left(\frac{tT_p + 0,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}\right)} \quad (8)$$

Karakteristik Kapasitas Tampungan *Pond*

Karakteristik *pond* yang diteliti mencakup area genangan total seluas 2,5 Ha, dengan elevasi dasar minimum pada +22,00 m, dan elevasi puncak tanggul (embankment) mencapai +26,00 m. Rencana elevasi puncak *spillway* ditetapkan pada +24,00 m, yang menghasilkan kapasitas volume tampungan sebesar 83.959,068 m³. Berdasarkan data karakteristik tampungan *pond* ini, telah dikembangkan hubungan matematis (metode regresi) antara elevasi dan volume tampungan, yang menghasilkan Persamaan (9) dan (10). Hubungan-hubungan ini menjadi dasar penting dalam analisis lebih

lanjut terkait efektivitas *pond* dalam mengendalikan banjir, serta dalam perhitungan *spillway routing* untuk memaksimalkan kapasitas tampungan dan mencegah risiko luapan.

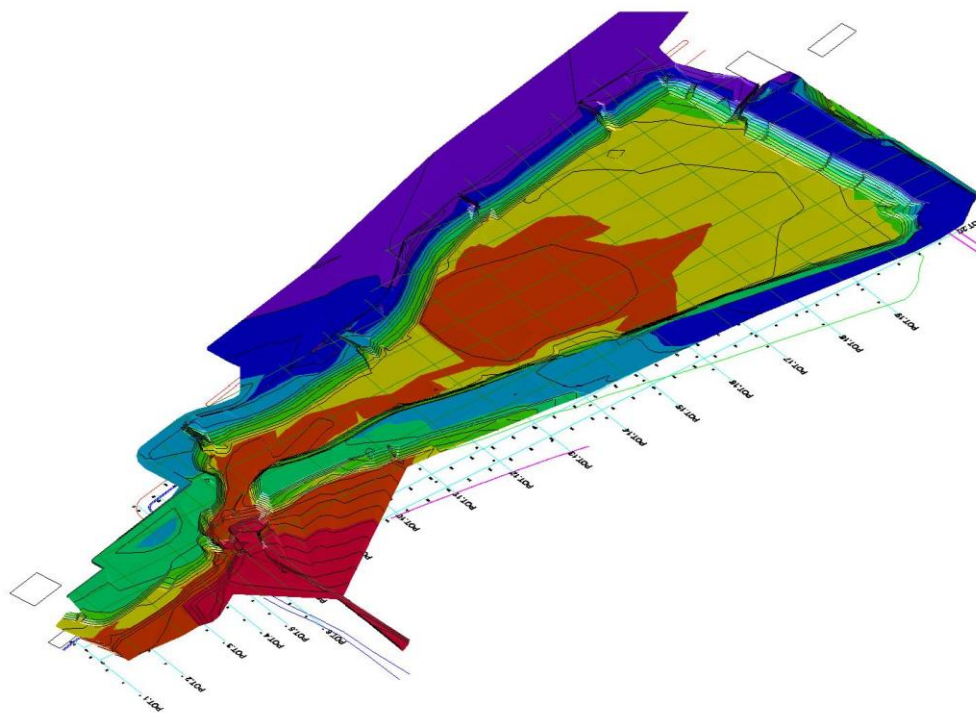
$$S = 2 \cdot 10^{-23} \cdot H^{19,742} \quad (9)$$

$$H = \left(\frac{S}{2 \cdot 10^{-23}} \right)^{\frac{1}{19,742}} \quad (10)$$

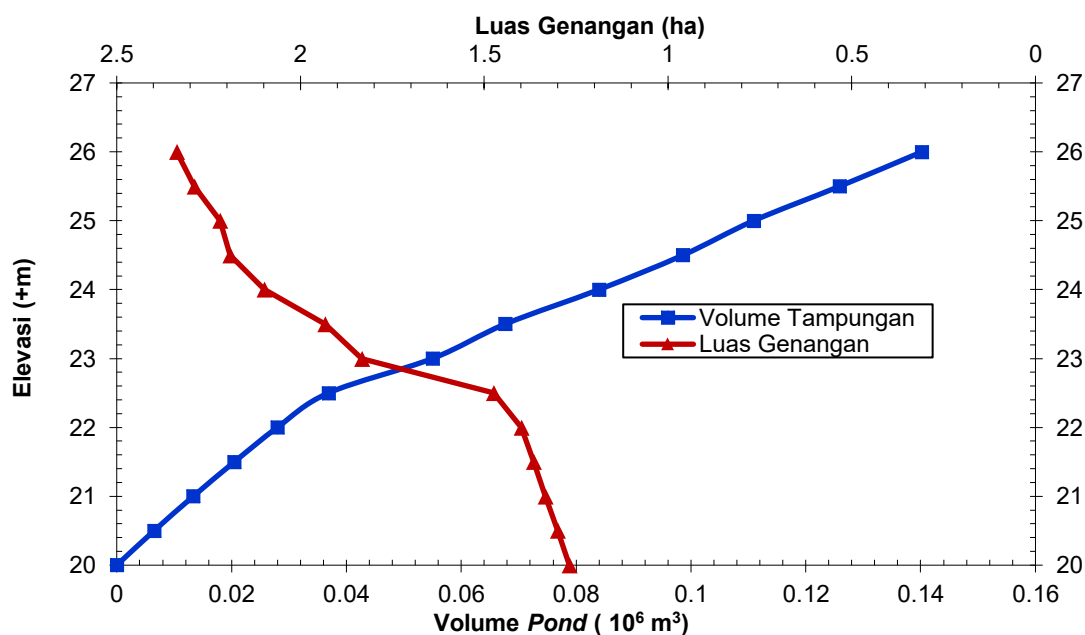
Dengan :

S = *Storage* atau volume tampungan (m³)

H = elevasi (m)



Gambar 2. Kontur 3D dan Bentuk *Pond* di Kawasan Industri Pabrik Sepatu, Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah

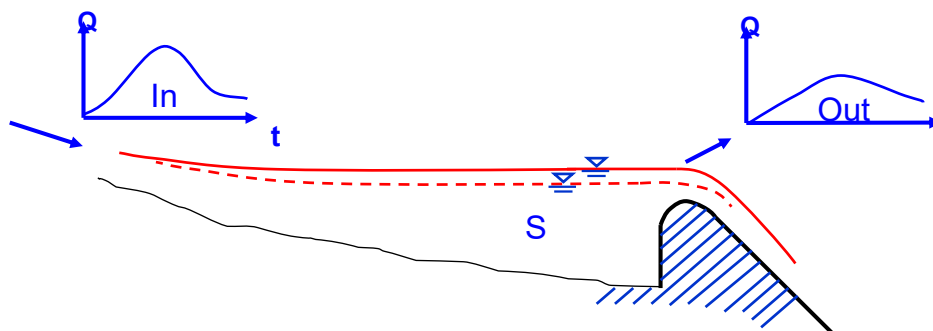


Gambar 3. Kurva Karakteristik Tampungan *Pond* di Kawasan Industri Pabrik Sepatu, Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah

Spillway Routing

Setelah debit banjir diperoleh, tahap selanjutnya adalah melakukan penelusuran banjir untuk memodelkan aliran air melalui *spillway* pada sistem *pond*. Penelusuran banjir dilakukan menggunakan metode karakteristik volume tampungan *pond*. Metode ini dipilih karena ketepatannya

dalam menyelesaikan persamaan *non-linear* yang sering ditemukan dalam penelusuran aliran air melalui *spillway*. Melalui penelusuran ini, dapat diketahui respons sistem *spillway* terhadap debit banjir yang masuk, termasuk ketinggian air di *pond* dan aliran yang keluar melalui *spillway*.



Gambar 4. Ilustrasi Konsep *Spillway Routing* Berdasarkan Kapasitas Tampungan *Pond*

Flood routing atau penelusuran banjir pada *pond* diperlukan untuk memperoleh data debit aliran keluar maksimum dan elevasi muka air maksimum pada *reservoir* tampungan. Analisis *flood routing* digunakan untuk melihat apakah debit banjir kala ulang 100 tahun (Q_{100}) yang masuk ke *pond* menyebabkan luapan air. Jika tidak terjadi luapan, maka simulasi keruntuhan tanggul *pond* diasumsikan terjadi akibat rembesan. Persamaan analisis *flood routing* menggunakan Persamaan (11):

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (11)$$

Persamaan perhitungan *flood routing* pada *pond* menggunakan Persamaan (12):

$$S_{j+1} - S_j = \left((I_j + I_{j+1})\Delta t - \left(\frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} \right) \Delta t \right) \quad (12)$$

di mana: I = Hidrograf aliran masuk, O = Hidrograf aliran keluar, S = Fungsi penyimpanan, Δt = Interval durasi

Kurva hubungan antara elevasi muka air dengan debit keluar pada saat melewati *spillway* ditentukan dari persamaan hidraulik sebagai berikut:

$$Q = C B H^{3/2} \quad (13)$$

Keterangan: Q = debit (m^3/s) C = koefisien *spillway* (1,3 ~ 2,2) B = lebar *spillway* (m), H = tinggi muka air di atas *spillway* (m).

Persamaan debit aliran keluar *spillway* dengan data lebar *spillway* maksimum 4,5 m dengan elevasi +24,00 (lihat Gambar 10) dan koefisien C diambil 1,3 sehingga diperoleh persamaan hidraulika *spillway* sebagai berikut:

$$Q = 1,3 \times 4,5 \times H^{3/2} \quad (14)$$

Persamaan (14) disederhanakan menjadi Persamaan (15)

$$Q = 5,85 H^{3/2} \quad (15)$$

Persamaan *spillway routing* Persamaan (12) bila disubstitusikan dengan Persamaan (15) dan Persamaan (9), maka diperoleh Persamaan (19)

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \Delta t = S_2 - S_1 \quad (16)$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} 1.3600 - \frac{O_1}{2} 1.3600 - \frac{O_2}{2} 1.3600 + S_2 - S_1 = 0 \quad (17)$$

$$(I_1 + I_2) 1800 - O_1 \cdot 1800 + S_1 - O_1 \cdot 1800 - S_2 = 0 \quad (18)$$

$$(I_1 + I_2) 1800 - 5,85 H^{3/2} \cdot 1800 + 2 \cdot 10^{-23} \cdot H^{19,742} - 5,85 H^{3/2} \cdot 1800 - 2 \cdot 10^{-23} \cdot H^{19,742} = 0 \quad (19)$$

Analisis dan Evaluasi Desain *Spillway*

Hasil dari perhitungan debit banjir dan penelusuran banjir kemudian digunakan untuk mengevaluasi desain *spillway* yang ada atau untuk merancang *spillway* baru. Analisis ini mencakup evaluasi kapasitas *spillway* dalam menghadapi berbagai skenario banjir berdasarkan kala ulang yang telah dihitung. Jika diperlukan, dilakukan optimasi desain untuk memastikan bahwa *spillway* mampu mengalirkan debit banjir dengan aman tanpa menyebabkan kerusakan pada struktur *pond* atau lingkungan sekitarnya.

Dengan menggunakan metodologi ini, penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik hidrologi kawasan penelitian dan memberikan rekomendasi desain *spillway* yang optimal untuk pengelolaan air di kawasan industri sepatu, Kabupaten Pekalongan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hujan Rancangan dengan Analisis Frekuensi

Hujan rancangan untuk berbagai kala ulang dapat dihitung menggunakan analisis frekuensi berdasarkan data hujan harian maksimum tahunan. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan menggunakan empat distribusi, yaitu Gumbel, Log Normal 2 Parameter, Log Pearson III dan Normal. Dari hasil analisis, distribusi Gumbel dipilih karena memiliki penyimpangan Δ_{Max} terkecil, yaitu sebesar 0,0967 dibandingkan dengan distribusi lainnya. Ringkasan hasil analisis frekuensi dari keempat metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan metode Gumbel yang terpilih, hujan rancangan untuk kala ulang 100 tahun diperoleh sebesar 258 mm (lihat Gambar 5).

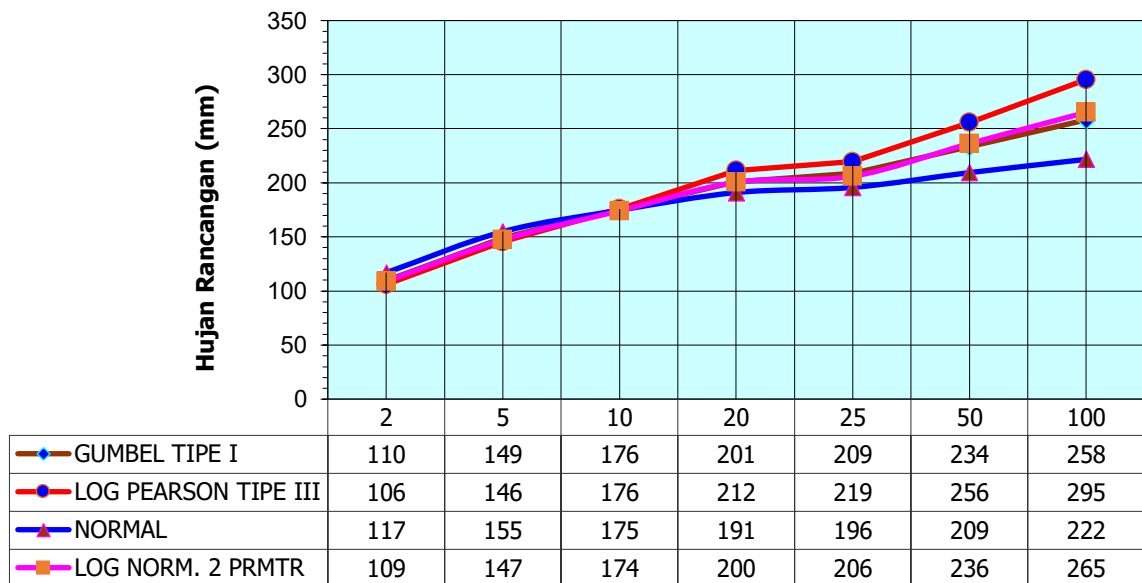
Uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov pada Distibusi

Selain Δ_{Max} dalam menentukan distribusi yang terpilih, maka semua distribusi harus lolos uji Chi-kuadrat dengan kriteria $\chi^2_{cal} < \chi^2_{cr}$ dengan menetapkan nilai $\alpha = 5\%$ dan $D_k = 3$ sehingga diperoleh nilai kritisnya yaitu 5.991.

Selanjutnya melakukan uji smirnov-kolmogorov dengan kriteria $\Delta_{Max} < \Delta_{Critical}$ hasil analisis menunjukkan nilai $\Delta_{Critical}$ sebesar 0.4301 untuk data hujan 10 tahun, maka nilai $n = 10$ dengan derajat kepercayaan 0.05. Hasil analisis kedua uji tersebut untuk keempat distribusi semuanya memenuhi syarat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengujian Distribusi

Distribusi	Metode Pengujian	Δ_{Max}	$\Delta_{Critical}$	χ^2_{cal}	χ^2_{cr}	Hasil
Gumbel	Chi-Kuadrat			2	5,991	terpenuhi
	Smirnov-Kolmogorov	0,0967	0,4301			terpenuhi
Log-Normal 2 Parameters	Chi-Kuadrat			1	5,991	terpenuhi
	Smirnov-Kolmogorov	0,2690	0,4301			terpenuhi
Log-Pearson Type III	Chi-Kuadrat			0	5,991	terpenuhi
	Smirnov-Kolmogorov	0,3189	0,4301			terpenuhi
Normal	Chi-Kuadrat			4	5,991	terpenuhi
	Smirnov-Kolmogorov	0,1430	0,4301			terpenuhi



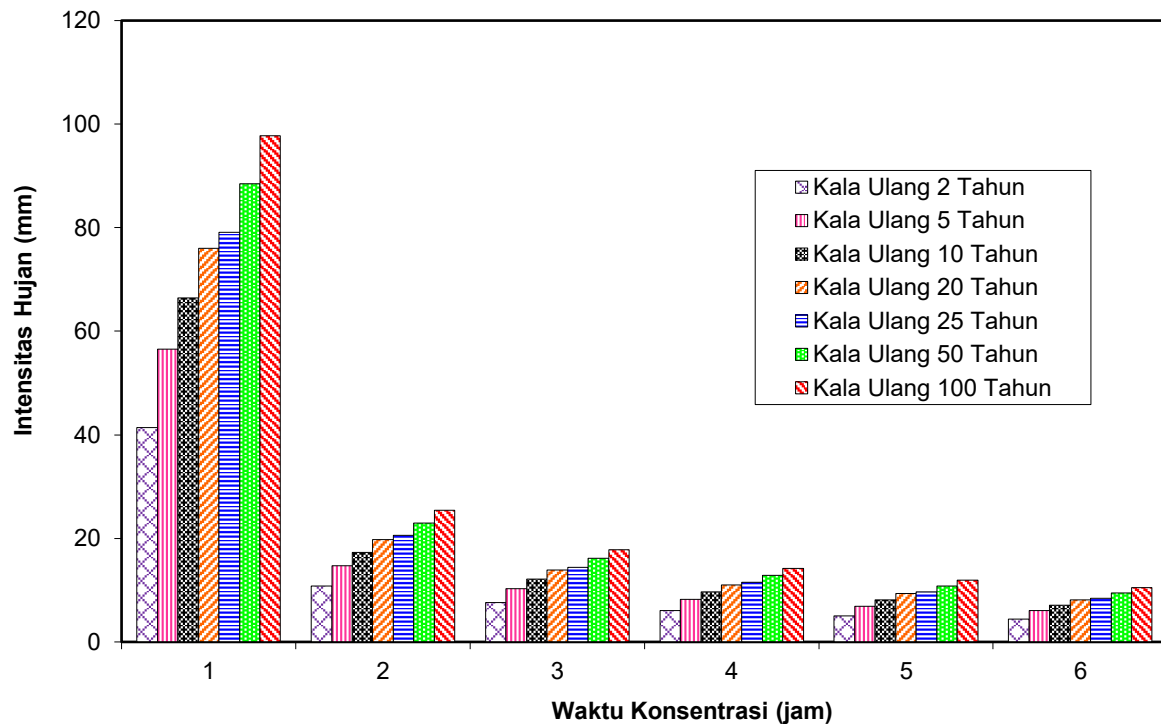
Kala Ulang (Tahun)

Gambar 5. Grafik Analisis Frekuensi Curah Hujan

Distribusi Hujan Jam-jaman

Hujan rancangan (*hyetograph*) dengan berbagai periode ulang, termasuk periode ulang 100 tahun, digunakan untuk mengkaji debit banjir akibat peningkatan kapasitas lahan industri. Kajian ini dilakukan dengan mempertimbangkan kriteria pedoman perencanaan

bangunan air dan faktor-faktor terkait lainnya. Dalam analisis ini, durasi distribusi hujan selama 6 jam dipertimbangkan dengan menggunakan metode Mononobe, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 hasil perhitungan distribusi hujan jam-jaman untuk berbagai kala ulang.



Gambar 6. Distribusi Intensitas Hujan Tiap Jam Masing-Masing Kala Ulang

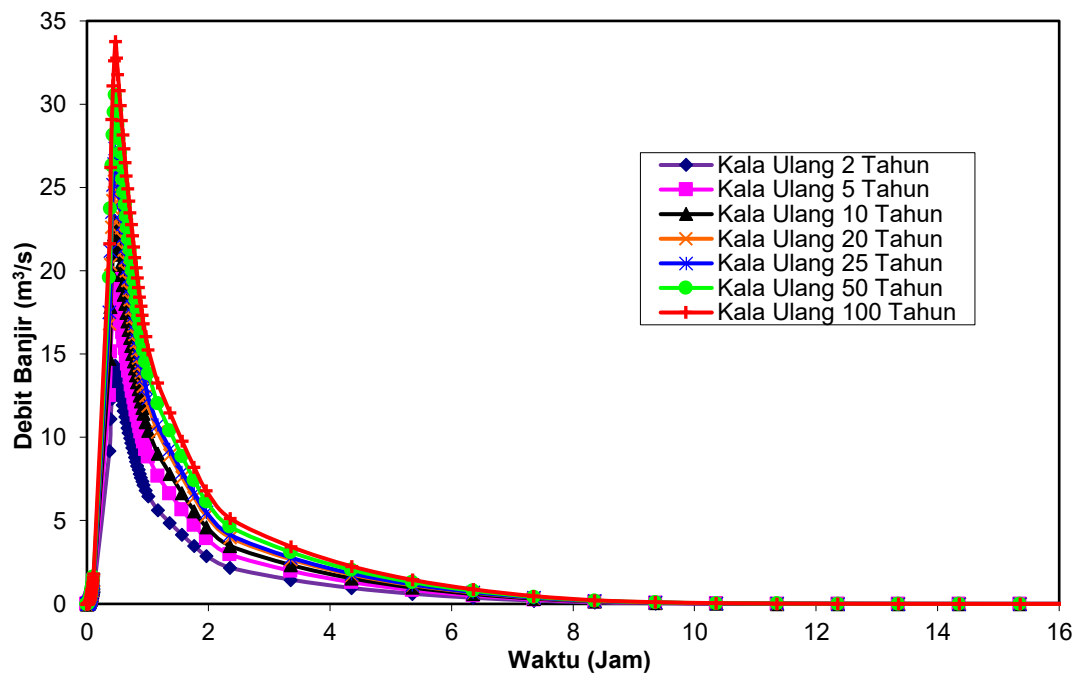
Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk hujan dengan kala ulang 100 tahun, yang memiliki intensitas total sebesar 258 mm dan koefisien limpasan komposit sebesar 0,69 berdasarkan tata guna lahan, distribusi hujan selama 6 jam adalah sebagai berikut: pada jam pertama sebesar 97,72 mm, jam kedua sebesar 25,40 mm, jam ketiga sebesar 17,82 mm, jam keempat sebesar 14,18 mm, jam kelima sebesar 11,98 mm, dan jam keenam sebesar 10,47 mm. Distribusi ini memberikan gambaran rinci tentang bagaimana intensitas hujan terdistribusi secara temporal, yang sangat penting dalam perhitungan debit banjir dan perencanaan mitigasi banjir di kawasan industri tersebut

Hidrograf Banjir pada Pond

Perhitungan perkiraan debit banjir menggunakan metode HSS Nakayasu yang telah dianalisis dari berbagai simulasi kala ulang debit banjir yang dihasilkan dari

hujan rancangan. Hasil simulasi perkiraan debit banjir rancangan berdasarkan distribusi hujan dengan berbagai kala ulang, yang disajikan pada Gambar 7, menunjukkan bahwa perhitungan perkiraan debit banjir untuk berbagai kala ulang, yaitu 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun, menghasilkan debit banjir yang berpotensi masuk ke *pond* masing-masing sebesar 19,53 m³/s, 22,98 m³/s, 26,29 m³/s, 27,34 m³/s, 30,57 m³/s, dan 33,78 m³/s.

Simulasi ini memberikan informasi penting tentang potensi aliran banjir maksimum yang harus ditampung oleh *pond* pada setiap periode ulang, sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk review perencanaan bangunan air yang ada di *pond*, perhitungan *spillway routing* dan pengelolaan risiko banjir di kawasan industri.



Gambar 7. Hidrograf Banjir Berbagai Kala Ulang pada Sistem *Pond* di Kawasan Industri Pabrik Sepatu, Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah

Analisis *Spillway Routing*

Dalam konteks pengendalian banjir, *spillway routing* sangat penting untuk mengevaluasi kapasitas *spillway* dalam mengalirkan debit banjir rancangan serta untuk memahami bagaimana aliran air akan berubah seiring waktu ketika melewati *spillway*.

Proses *spillway routing* melibatkan pemodelan aliran masuk ke dalam *pond*, menghitung volume air yang tersimpan, dan memperkirakan aliran keluar melalui *spillway*. Dengan menggunakan prinsip konservasi massa dan hubungan antara tinggi muka air, kapasitas *spillway*, dan debit keluar, analisis ini memungkinkan untuk mengetahui perubahan tinggi muka air di *pond* dan besar aliran yang dilepaskan selama kejadian banjir.

Hasil perhitungan *spillway routing* pada *pond* menunjukkan variasi debit *outflow* yang signifikan sesuai dengan periode ulang banjir yang dianalisis. Debit *outflow* yang dihasilkan dari perhitungan untuk berbagai kala ulang banjir adalah sebagai berikut: 5,03 m³/s untuk kala ulang 5 tahun, 5,94 m³/s untuk kala ulang 10 tahun, 6,80 m³/s untuk kala ulang 20 tahun, 7,07 m³/s untuk kala ulang 25 tahun, 7,88 m³/s untuk kala ulang 50 tahun, dan 8,68 m³/s untuk kala ulang 100 tahun (lihat Gambar 8).

Dari hasil ini, terlihat bahwa semakin panjang periode ulang banjir, semakin besar debit *outflow* yang harus ditangani oleh *spillway*. Pada kala ulang 5 tahun, debit *outflow* yang dihasilkan masih relatif rendah, namun seiring dengan meningkatnya kala ulang, debit *outflow* mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Hal ini

mencerminkan bahwa kejadian banjir dengan kala ulang yang lebih panjang cenderung menghasilkan hujan yang lebih ekstrim, sehingga volume air yang harus dilepaskan melalui *spillway* juga lebih besar.

Peningkatan debit *outflow* yang cukup konsisten ini menekankan pentingnya perancangan *spillway* yang mampu mengakomodasi variasi dalam intensitas dan volume aliran air untuk berbagai skenario banjir. *Spillway* harus dirancang dengan kapasitas yang memadai untuk memastikan bahwa *pond* dapat berfungsi dengan efektif dalam mengendalikan aliran air dan mencegah risiko banjir, terutama pada kejadian hujan dengan intensitas tinggi yang memiliki kala ulang lebih panjang.

Secara keseluruhan, hasil perhitungan ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kemampuan *pond* dalam menangani aliran air yang dihasilkan dari berbagai skenario banjir, serta pentingnya desain *spillway* yang adaptif dan cukup kuat untuk menghadapi kondisi hidrologi yang bervariasi.

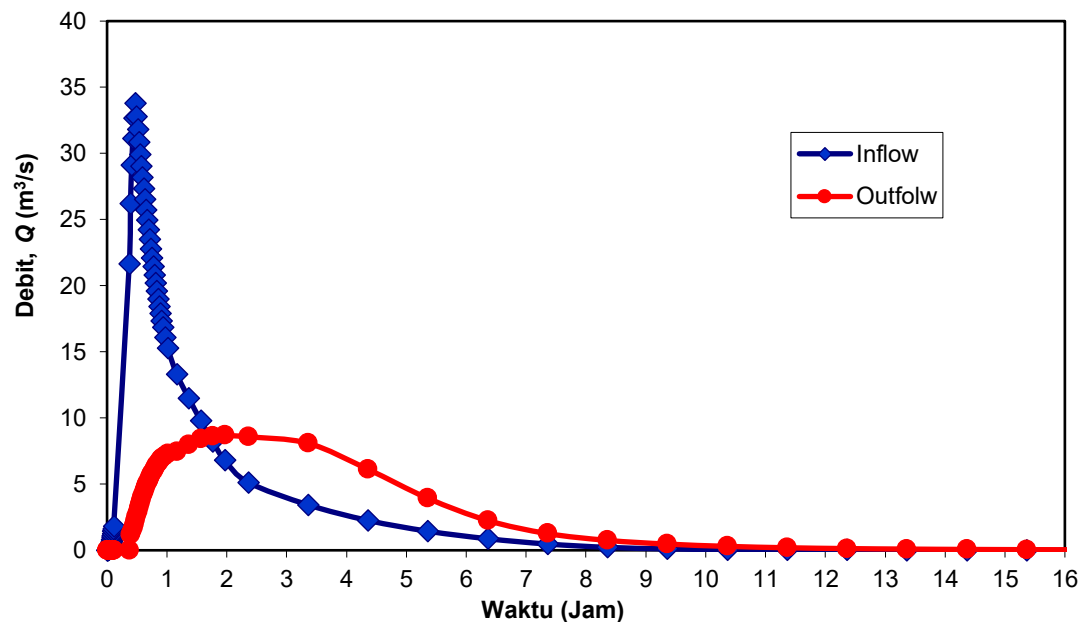
Selain debit *outflow* hasil analisis *spillway routing* diperoleh ketinggian muka air banjir maksimum di atas *spillway* dari berbagai kala ulang banjir yaitu 1,05 m untuk kala ulang 5 tahun, 1,18 m untuk kala ulang 10 tahun, 1,31 m untuk kala ulang 20 tahun, 1,34 m untuk kala ulang 25 tahun, 1,46 m untuk kala ulang 50 tahun dan 1,57 m untuk kala ulang 100 tahun.

Hasil perhitungan elevasi kenaikan muka air banjir dari dasar *pond* (+22,00 m) berbagai kala ulang banjir diperoleh kenaikan muka air banjir pada elevasi +24,90

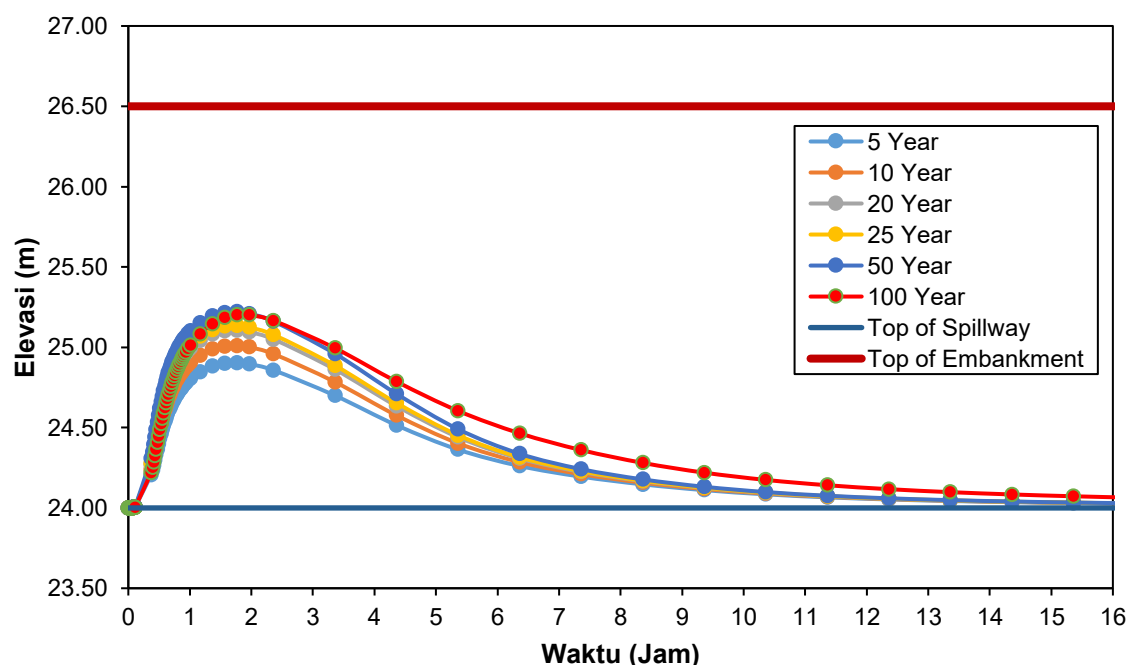
m untuk kala ulang 5 tahun, +25,01 m untuk kala ulang 10 tahun, +25,11 m untuk kala ulang 20 tahun, +25,13 m untuk kala ulang 25 tahun, + 25,22 m untuk kala ulang 50 tahun dan +25,30 m untuk kala ulang 100 tahun.

Hasil perhitungan lebih lanjut menunjukkan bahwa pada kala ulang 100 tahun, *pond* mampu mereduksi debit banjir hingga 74%, dengan 26% debit banjir dialirkan

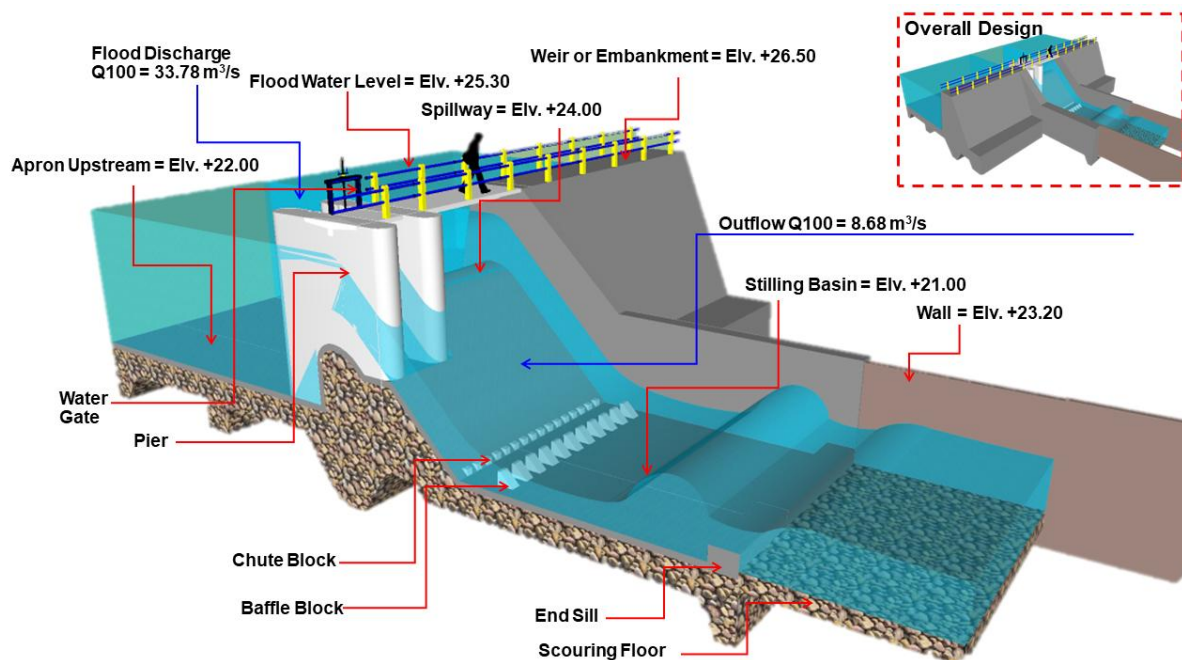
secara bertahap melalui *spillway* dan saluran drainase menuju sungai. Efektivitas *spillway* dalam mengurangi risiko *overtopping* menegaskan bahwa *pond* ini berfungsi sebagai solusi mitigasi banjir yang andal untuk kawasan industri pabrik sepatu di Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah serta desain konstruksi *spillway* masih cukup ideal untuk membuang debit banjir yang berlebih.



Gambar 8. *Inflow* Hidrograf Banjir Kala Ulang 100 Tahun dan *Outflow Spillway* pada sistem *Pond* di Kawasan Industri Pabrik Sepatu, Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah



Gambar 9. Hidrograf *Spillway Routing* Berbagai Kala Ulang pada sistem *Pond* di Kawasan Industri Pabrik Sepatu, Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah



Gambar 10. Model 3D Kenaikan Muka Air Banjir dengan Kala Ulang 100 Tahun pada Konstruksi Bangunan *Spillway* di *Pond* Kawasan Industri Pabrik Sepatu, Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa simulasi *spillway routing* untuk berbagai kala ulang yang dilakukan dengan menyesuaikan desain konstruksi bangunan air (*spillway* dan *pond*) memiliki signifikansi praktis yang tinggi. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam penerapan teknik di lapangan, terutama dalam perencanaan dan pengembangan infrastruktur bangunan air lainnya, seperti sistem drainase dan saluran pembuangan di masa depan. Kesimpulan spesifik yang dihasilkan dari analisis data dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Hasil studi menunjukkan dari perhitungan perkiraan debit banjir dengan metode HSS Nakayasu pada berbagai kala ulang 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun diperoleh debit banjir yang masuk ke *pond* yaitu $19,53 \text{ m}^3/\text{s}$, $22,98 \text{ m}^3/\text{s}$, $26,29 \text{ m}^3/\text{s}$, $27,34 \text{ m}^3/\text{s}$, $30,57 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $33,78 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. *Spillway routing* pada *pond* untuk berbagai kala ulang banjir diperoleh debit *outflow* sebesar $5,03 \text{ m}^3/\text{s}$, $5,94 \text{ m}^3/\text{s}$, $6,80 \text{ m}^3/\text{s}$, $7,07 \text{ m}^3/\text{s}$, $7,88 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $8,68 \text{ m}^3/\text{s}$.
3. Ketinggian muka air banjir maksimum di atas *spillway* dari berbagai kala ulang banjir diperoleh 1,05 m, 1,18 m, 1,31 m, 1,34 m, 1,46 m dan 1,57 m.
4. Hasil perhitungan elevasi kenaikan muka air banjir dari dasar *pond* (+22 m) berbagai kala ulang banjir diperoleh kenaikan muka air banjir pada elevasi +24,90 m, +25,01 m, +25,11 m, +25,13 m, +25,22 m dan +25,30 m.

5. Hasil perhitungan lebih lanjut menunjukkan bahwa pada kala ulang 100 tahun, *pond* mampu mereduksi debit banjir hingga 74%, dengan 26% debit banjir dialirkan secara bertahap melalui *spillway* dan saluran drainase menuju sungai. Efektivitas *spillway* dalam mengurangi risiko *overtopping* menegaskan bahwa *pond* ini berfungsi sebagai solusi mitigasi banjir yang andal untuk kawasan industri pabrik sepatu di Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada PT. Hardases Abadi Indonesia, sebagai pemilik industri pabrik Sepatu di Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah, atas kepercayaan yang telah diberikan kepada penulis untuk melaksanakan kajian pembangunan *pond* ini. Tak lupa, kami juga mengucapkan terima kasih kepada PT. Cremona Delta Radian, selaku konsultan manajemen konstruksi, yang telah mendukung dengan menyediakan data penting yang memungkinkan analisis ini dilakukan secara lebih komprehensif. Dukungan dari kedua pihak tersebut sangat berarti dalam penyelesaian studi ini.

REFERENSI

Aditiya, A. R., Dermawan, V., & Asmaranto, R. (2023). Studi Perencanaan Embung sebagai Upaya Pengendalian Banjir Sungai Kemuning Kabupaten Sampang Madura Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber*

- Daya Air, 3(2).
https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.02.03
- Adoe, D. P. A., Sina, D. A. T., & Krisnayanti, D. S.** (2022). Analisis Debit Banjir pada DAS di Pulau Sumba dengan Metode HSS Nakayasu dan Metode HSS GAMA-1. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 1(1). https://doi.org/10.56860/jtsda.v1i1.6
- Andayani, R., & Umari, Z. F.** (2022). Debit Banjir Rancangan DAS Selabung dengan HSS Nakayasu. *Jurnal Deformasi*, 7(1).
https://doi.org/10.31851/deformasi.v7i1.7803
- Ansori, M. B., & Anwar, N.** (2022). THE TRMM RAINFALL-RUNOFF TRANSFORMATION MODEL USING GR4J AS A PREDICTION OF THE TUGU DAM RESERVOIR INFLOW. *International Journal of GEOMATE*, 23(97).
https://doi.org/10.21660/2022.97.1975
- Ansori, M. B., Lasminto, U., & Kartika, A. A. G.** (2023). FLOOD HYDROGRAPH ANALYSIS USING SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH, HEC-HMS, AND HEC-RAS 2D UNSTEADY FLOW PRECIPITATION ON-GRID MODEL FOR DISASTER RISK MITIGATION. *International Journal of GEOMATE*, 25(107).
https://doi.org/10.21660/2023.107.3719
- Buana, H., Limantara, L. M., Juwono, P. T., & Sholichin, Moh.** (2022). Time Lag Modeling in Modification of Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(7).
https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.7.2
- Budiarto, F. D., Marsudi, S., & Dermawan, V.** (2023). Studi Perencanaan Rehabilitasi Bangunan Pelimpah (Spillway) pada Embung Takisung Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2).
https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.02.08
- Chow, V. Te.** (1965). Handbook of applied hydrology. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 10(1).
https://doi.org/10.1080/02626666509493376
- Damayanti, A. C., Limantara, L. M., & Haribowo, R.** (2022). Analisis Debit Banjir Rancangan dengan Metode HSS Nakayasu, HSS ITB-1, dan HSS Limantara pada DAS Manikin di Kabupaten Kupang. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(2).
https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.02.25
- Darmawan, M. A., Sumerman, S., Hermanto, W., & Ikhwanudin, I.** (2022). PERENCANAAN EMBUNG KRAJAN KABUPATEN GROBOGAN. *Jurnal Teknik Sipil Giratory Upgris*, 1(2).
https://doi.org/10.26877/goratory.v1i2.9419
- Fang, L., & Shao, D.** (2022). Application of Long Short-Term Memory (LSTM) on the Prediction of Rainfall-Runoff in Karst Area. *Frontiers in Physics*, 9. https://doi.org/10.3389/fphy.2021.790687
- Gunawan, G. G., Besperi, B., & Purnama, L.** (2020). Analisis Debit Banjir Rancangan Sub DAS Air Bengkulu Menggunakan Analisis Frekuensi dan Metode Distribusi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 17(1). https://doi.org/10.30630/jirs.17.1.298
- Harun, S., Ahmat Nor, N. I., & Mohd. Kassim, A. H.** (2012). Artificial Neural Network Model for Rainfall-Runoff Relationship. *Jurnal Teknologi*.
https://doi.org/10.11113/jt.v37.524
- Harun, S., Irwan, N. O. R., & Nor, A.** (2007). Artificial neural network model for rainfall-runoff relationship. *Jurnal Teknologi*, 37(B) Dis. 2002, 37(101).
- Herrmann, H., & Bucksch, H.** (2014). applied hydrology. Dalam *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_12310
- Janatha, D., & Soebagio, S.** (2021). PERENCANAAN EMBUNG DI KAWASAN ANGGREK GORONTALO UTARA. *axial : jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, 9(3).
https://doi.org/10.30742/axial.v9i3.1766
- Jehanzaib, M., Ajmal, M., Achite, M., & Kim, T. W.** (2022). Comprehensive Review: Advancements in Rainfall-Runoff Modelling for Flood Mitigation. Dalam *Climate* (Vol. 10, Nomor 10).
https://doi.org/10.3390/cli10100147
- Maini, M., & Mashuri.** (2020). The Study of Sedimentation at Jongkong Reservoir in District Central of Bangka through Erosion of Catchment Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 537(1).
https://doi.org/10.1088/1755-1315/537/1/012003
- Maini, M., & Mashuri, M.** (2019). ANALISIS IMBANGAN AIR EMBUNG JONGKONG KABUPATEN BANGKA TENGAH MELALUI KAPASITAS TAMPUNGAN. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 7(1).
https://doi.org/10.33019/fropil.v7i1.1402
- Mashuri, Maini, M., & Burhamidar, A. H.** (2022). Kajian Hidrograf Banjir Daerah Aliran Sungai Tanjung Parak Pada Pembangunan Embung Pulau Tiga. *Jurnal Infrastruktur*, 8(1).
- Reddy, N. M., Saravanan, S., & Abijith, D.** (2023). Streamflow simulation using conceptual and neural network models in the Hemavathi sub-watershed, India. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(2).
https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100153
- Riad, S., Mania, J., Bouchaou, L., & Najjar, Y.** (2004). Rainfall-runoff model usingan artificial neural network approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 40(7-8).
https://doi.org/10.1016/j.mcm.2004.10.012
- Saefulloh, D. F., Hadihardaja, I. K., & Harlan, D.** (2018). Modeling of triangular unit hydrographs using an artificial neural network in a tropical river basin. *International Journal of GEOMATE*, 15(51).
https://doi.org/10.21660/2018.51.75472
- Sarminingsih, A.** (2018). Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan Embung Coyo Kabupaten Grobogan. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(1).
https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i1.53-61
- Seran, Y. M. H., Nasjono, J. K., & Ramang, R.** (2020). KEAKURATAN DEBIT MAKSIMUM METODE NAKAYASU PADA SUNGAI TEMEF. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1).

- Sherman, L. K.** (2010). Streamflow from Rainfall by the Unit Graph Method. *Eng. News Rec*, 108.
- Triatmodjo, B.** (2013). Hidrologi Terapan (ke-7). Dalam *Buku Hidrologi Terapan*.
- Ujianto, R., Wigati, R., Ardiansyah, I. R., & Kulsum, K.** (2022). Perencanaan Desain Embung Untuk Kebutuhan Air Baku dan Pengendalian Banjir (Studi Kasus: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Kampus Sindangsari). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v0i0.13095>
- Xu, Y., Hu, C., Wu, Q., Li, Z., Jian, S., & Chen, Y.** (2021). Application of temporal convolutional network for flood forecasting. *Hydrology Research*, 52(6). <https://doi.org/10.2166/NH.2021.021>