

Perencanaan Saluran Drainase dalam Pengendalian Banjir pada Kawasan Industri PT. DDD Menggunakan Optimasi Linear Programming

Haflas Surur^{1*}, Eddy Priyanto¹, Ikhtisholiah¹

¹Universitas Gresik, Gresik, Indonesia

sururhaflas@gmail.com^{*}

Received: 19/06/2026

Revised: 01/08/2026

Accepted: 07/08/2026

Copyright©2026 by authors. Authors agree that this article remains permanently open access under the
terms of the Creative Commons

Abstrak

Peningkatan intensitas curah hujan di kawasan industri berpotensi menimbulkan genangan yang dapat mengganggu aktivitas operasional, mobilitas kendaraan dan alat berat, serta menyebabkan kerusakan aset perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan debit banjir rencana pada periode ulang 10 tahun, mengevaluasi kapasitas saluran drainase eksisting, serta menentukan dimensi outlet yang optimal di area Central Workshop PT. DDD di Kabupaten Gresik. Berdasarkan hasil observasi lapangan, daerah tangkapan pada lokasi penelitian memiliki luas 300 m² dan didominasi oleh perkerasan beton kedap air, sehingga menyebabkan terbentuknya genangan lokal dengan volume sekitar 6 m³. Analisis hidrologi dilakukan menggunakan Distribusi Log-Pearson Tipe III yang diuji dengan metode Chi-Square, sedangkan intensitas hujan dihitung menggunakan Persamaan Mononobe dan debit banjir rencana ditentukan dengan Metode Rasional. Hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan rencana untuk periode ulang 10 tahun sebesar 336,29 mm menghasilkan debit banjir rencana sebesar 0,04587 m³/detik. Evaluasi kapasitas hidraulik menunjukkan bahwa saluran drainase eksisting hanya memiliki kapasitas sebesar 0,025 m³/detik, sehingga belum mampu mengalirkan debit banjir rencana secara optimal dan berpotensi menyebabkan genangan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, direncanakan tiga alternatif outlet pipa PVC dengan diameter 100 mm, 150 mm, dan 200 mm. Hasil optimasi menggunakan Linear Programming menunjukkan bahwa pipa PVC berdiameter 200 mm merupakan alternatif optimal karena memiliki kemampuan pengaliran terbaik dan mampu menyurutkan genangan dalam waktu tercepat. Dengan demikian, penggunaan outlet pipa PVC berdiameter 200 mm dapat menjadi alternatif untuk menangani genangan di area Central Workshop PT. DDD, dengan tetap didukung oleh pemeliharaan sistem drainase secara berkala untuk menjaga kinerja pengaliran.

Kata Kunci: Sistem Drainase, Debit Banjir Rencana, Kapasitas Saluran, Pipa PVC, Linear Programming, Genangan.

Abstract

Increasing rainfall intensity in industrial areas can cause waterlogging, disrupt operations, hinder the mobility of vehicles and heavy equipment, and potentially damage company assets. This study aims to determine the 10-year return-period design flood discharge, evaluate the capacity of the existing drainage channel, and determine the optimal outlet dimensions in the

Central Workshop area of PT. DDD, Gresik Regency. Based on field observations, the study area has a catchment area of 300 m² and is predominantly covered by impermeable concrete pavement, resulting in local waterlogging totaling approximately 6 m³. Hydrological analysis was conducted using the Log-Pearson Type III Distribution validated by the Chi-Square test, while rainfall intensity was calculated using the Mononobe Equation and the design flood discharge was determined using the Rational Method. The analysis results indicate that the 10-year return period design rainfall of 336.29 mm produces a design flood discharge of 0.04587 m³/s. Hydraulic capacity evaluation indicates that the existing drainage channel has a capacity of only 0.025 m³/s, which is insufficient to adequately convey the design flood discharge and may contribute to waterlogging. To address this problem, three PVC outlet pipe alternatives with diameters of 100 mm, 150 mm, and 200 mm were evaluated. The optimization results using Linear Programming indicate that the 200 mm-diameter PVC pipe is the optimal alternative because it offers the highest flow capacity and the shortest waterlogging recession time. Therefore, installing a 200 mm-diameter PVC outlet pipe can serve as an alternative solution to controlling waterlogging in the Central Workshop area of PT. DDD, supported by regular drainage system maintenance to maintain optimal hydraulic performance.

Keywords: Drainage System, Design Flood Discharge, Drainage Capacity, PVC Pipe, Linear Programming, Waterlogging.

Pendahuluan

Banjir dan genangan merupakan permasalahan yang dapat mengganggu aktivitas di kawasan terbangun, khususnya kawasan industri yang memiliki tingkat aktivitas operasional dan mobilitas yang tinggi. Perkembangan kawasan industri umumnya diikuti oleh meningkatnya luas bangunan, jalan, area parkir, dan perkerasan beton yang menyebabkan berkurangnya kemampuan lahan dalam meresapkan air hujan. Kondisi tersebut meningkatkan limpasan permukaan yang harus dialirkan melalui sistem drainase. Apabila kapasitas sistem drainase tidak mampu mengalirkan limpasan yang terjadi, air akan tertahan dan membentuk genangan di kawasan yang memiliki kapasitas pengaliran yang terbatas. Genangan yang terjadi di kawasan industri dapat menghambat mobilitas kendaraan dan alat berat, mengganggu aktivitas produksi dan logistik, serta berpotensi menyebabkan kerusakan pada infrastruktur dan aset perusahaan (Raya & Prasetyo, 2022).

Permasalahan tersebut ditemukan di area Central Workshop PT. DDD di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Berdasarkan hasil observasi lapangan, daerah tangkapan pada lokasi penelitian memiliki luas sekitar 300 m² dan didominasi oleh perkerasan beton yang kedap air. Kondisi tersebut menyebabkan terbentuknya genangan lokal dengan luas sekitar 60 m², kedalaman rata-rata 0,10 m, dan volume genangan mencapai 6 m³ saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Kondisi genangan yang berulang menunjukkan bahwa sistem drainase pada lokasi tersebut perlu dievaluasi untuk mengetahui kemampuan saluran eksisting dalam mengalirkan limpasan serta menentukan alternatif penanganan yang sesuai. (Jayasooriya et al., 2020)

Untuk mengetahui besarnya limpasan yang harus dialirkan oleh sistem drainase, penelitian ini menggunakan data curah hujan harian maksimum tahunan periode 2015–2024 sebagai dasar analisis hidrologi. Data tersebut dianalisis menggunakan Distribusi Log-Pearson Tipe III dan diuji kesesuaiannya dengan uji Chi-Square untuk memperoleh curah hujan rencana. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk menentukan intensitas hujan dengan persamaan

Mononobe dan menghitung debit banjir rencana menggunakan metode rasional. Dengan demikian, analisis hidrologi dalam penelitian ini digunakan secara langsung untuk memperoleh besarnya debit limpasan sebagai dasar evaluasi kapasitas sistem drainase. (Lingkungan et al., 2024)

Hasil analisis hidrologi selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi kemampuan saluran drainase yang sudah ada. Kapasitas hidraulik saluran dianalisis menggunakan Persamaan Manning dengan mempertimbangkan karakteristik penampang saluran dan kondisi alirannya. Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah saluran eksisting mampu mengalirkan debit limpasan yang terjadi di kawasan penelitian. Apabila kapasitas saluran lebih kecil daripada debit limpasan, maka diperlukan sistem pembuangan alternatif dengan kapasitas yang lebih besar untuk mengurangi genangan. Tahapan analisis hidraulika tersebut menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan perencanaan outlet baru di lokasi penelitian. (*Model Manajemen Air Hujan (SWMM) – US EPA*, n.d.)

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan yang dihadapi bukan hanya menentukan apakah saluran eksisting mampu mengalirkan limpasan, tetapi juga menentukan alternatif outlet yang paling sesuai untuk mengurangi genangan. Pada penelitian ini direncanakan tiga alternatif pipa PVC dengan diameter 100 mm, 150 mm, dan 200 mm. Ketiga alternatif tersebut memiliki kapasitas pengaliran dan waktu surut genangan yang berbeda-beda. Pipa berdiameter lebih besar cenderung memiliki kapasitas pengaliran yang lebih tinggi, sehingga waktu yang diperlukan untuk menguras genangan menjadi lebih singkat. Namun, karena terdapat beberapa alternatif yang dapat digunakan, diperlukan metode untuk membantu menentukan pilihan terbaik berdasarkan tujuan dan batasan yang telah ditetapkan.

Kondisi inilah yang menjadi alasan utama penggunaan metode Linear Programming dalam penelitian ini. Linear Programming dipilih karena penelitian ini memiliki sejumlah alternatif keputusan yang bersifat diskrit, yaitu pemilihan salah satu dari tiga diameter pipa outlet, dengan tujuan memperoleh alternatif yang paling optimal berdasarkan parameter kinerja yang telah ditentukan. Setiap alternatif memiliki nilai kapasitas debit dan waktu surut genangan yang berbeda, sehingga pemilihan diameter tidak hanya dilakukan berdasarkan pertimbangan bahwa pipa dengan diameter terbesar memiliki kapasitas debit paling tinggi. Melalui model optimasi Linear Programming biner, setiap alternatif dapat dinyatakan sebagai variabel keputusan yang bernilai 0 atau 1 sehingga model dapat menentukan satu alternatif yang paling sesuai dengan fungsi tujuan dan kendala teknis penelitian. (Kasus et al., 2023)

Dalam penelitian ini, fungsi tujuan optimasi diarahkan untuk meminimalkan waktu surut genangan, sedangkan kendala model memastikan bahwa volume genangan sebesar 6 m³ dapat dialirkan seluruhnya dan hanya satu alternatif diameter pipa yang dipilih. Pendekatan tersebut dipilih karena permasalahan di lokasi penelitian membutuhkan solusi yang tidak hanya mampu mengalirkan air, tetapi juga dapat mengurangi waktu genangan sehingga aktivitas operasional kawasan dapat kembali berjalan dengan cepat. Dengan demikian, Linear Programming digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan untuk memilih alternatif outlet berdasarkan hasil analisis hidrologi dan hidraulika yang telah dilakukan sebelumnya. (Cahyaningrum et al., 2024)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pipa PVC berdiameter 100 mm memiliki waktu surut genangan sekitar 12,74 menit, diameter 150 mm sekitar 5,66 menit, sedangkan diameter 200 mm sekitar 3,18 menit. Berdasarkan model optimasi yang digunakan, diameter 200 mm terpilih

sebagai alternatif optimum karena menghasilkan waktu surut genangan paling singkat dengan kapasitas debit pembuangan sebesar 0,03140 m³/detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan optimasi dapat membantu menentukan alternatif outlet secara sistematis berdasarkan kinerja hidraulik masing-masing pilihan. (*Optimasi Model Pseudo-Genetik Untuk Rehabilitasi Jaringan Drainase Air Hujan Perkotaan - ScienceDirect*, n.d.)

Dengan demikian, rangkaian penelitian ini disusun berdasarkan hubungan logis antara permasalahan dan metode yang digunakan. Analisis hidrologi dilakukan untuk mengetahui besarnya hujan rencana dan debit limpasan, sedangkan analisis hidraulika digunakan untuk mengevaluasi kemampuan saluran yang ada. Setelah diketahui adanya kebutuhan peningkatan sistem pembuangan, beberapa alternatif diameter pipa direncanakan dan dibandingkan berdasarkan kapasitas pengaliran serta waktu surut genangan. Selanjutnya, Linear Programming digunakan untuk memilih alternatif yang paling optimal berdasarkan fungsi tujuan dan kendala yang telah ditetapkan. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan solusi perencanaan outlet yang lebih terukur dan sesuai dengan kebutuhan pengendalian genangan di kawasan industri PT. DDD.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul “Perencanaan Saluran Drainase dalam Pengendalian Banjir pada Kawasan Industri PT. DDD Menggunakan Optimasi Linear Programming.” Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi teknis terhadap permasalahan genangan di area Central Workshop PT. DDD melalui integrasi analisis hidrologi, analisis hidraulika, dan optimasi Linear Programming. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan sistem drainase kawasan sehingga genangan dapat dikurangi secara efektif dan aktivitas operasional, mobilitas alat berat, serta kegiatan logistik dapat berlangsung dengan lebih baik.

Metode Penelitian

Penelitian terapan ini dilaksanakan di area Central Workshop PT. DDD yang berlokasi strategis di kawasan industri Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Lokasi ini dipilih secara sengaja (*purposive sampling*) mengingat adanya urgensi teknis berupa kerentanan terhadap pembentukan genangan air lokal yang secara konsisten muncul setiap kali curah hujan dengan intensitas tinggi melanda kawasan tersebut. Objek kajian difokuskan pada subsistem drainase mikro penangkap luapan permukaan serta perancangan sistem outlet pembuangan pipa baru.

Kerangka metodologi penelitian dirancang secara sistematis melalui integrasi tahapan analisis kuantitatif deskriptif dan pemodelan optimasi matematis. Langkah-langkah penelitian diartikulasikan sebagai berikut:

1. **Tahap Persiapan dan Survei Lapangan:** Melakukan investigasi geometrik saluran eksisting, pemetaan elevasi mikro daerah tangkapan, pengukuran dimensi genangan aktual, serta identifikasi rute saluran pembuangan utama (*main drain*) di kawasan industri.
2. **Pengumpulan Data Primer dan Sekunder:** Mengompilasi data primer hasil pengukuran lapangan (panjang, lebar, dan tebal genangan) serta data sekunder berupa deret data curah hujan harian maksimum tahunan selama periode 10 tahun terakhir (2015–2024) yang diperoleh dari stasiun klimatologi terdekat.

3. **Analisis Hidrologi:** Melakukan transformasi data hujan ke skala logaritma untuk menghitung parameter statistik menggunakan metode Distribusi Log-Pearson Tipe III, dilanjutkan dengan uji validitas kecocokan sebaran probabilitas menggunakan metode statistik Chi-Square (χ^2).
4. **Analisis Intensitas Hujan dan Debit Banjir Rencana:** Mentransformasikan nilai curah hujan rencana menjadi besaran intensitas hujan temporal menggunakan persamaan empiris Mononobe. Selanjutnya, menghitung debit banjir puncak rencana (Q) dengan periode ulang (*return period*) 10 tahun.
5. **Analisis Hidraulika dan Formulasi Optimasi Linear Programming:** Mengevaluasi kemampuan hidraulik penampang eksisting menggunakan persamaan Manning. Jika terjadi ketidakseimbangan kapasitas, diformulasikan model optimasi **Linear Programming** (LP) biner untuk menentukan pilihan diameter pipa PVC outlet terbaik berdasarkan fungsi minimasi waktu surut genangan (t) dengan batasan kapasitas hidraulik.

Distribusi Frekuensi Log Pearson Tipe III

Distribusi Log-Pearson Tipe III digunakan luas dalam hidrologi untuk memperkirakan debit rencana (return period) dari deret tahunan debit puncak dengan langkah utama: (1) melakukan transformasi logaritma pada setiap nilai debit puncak sehingga sebaran menjadi lebih mendekati asumsi Pearson Tipe III; (2) menghitung parameter pada skala logaritma—rata-rata logaritma, simpangan baku logaritma, dan koefisien skewness logaritma—biasanya melalui metode momen; dan (3) menggunakan fungsi distribusi Pearson Tipe III terbalik untuk memperoleh nilai debit pada periode ulang yang diinginkan.

Dalam praktik perencanaan drainase, kelebihan Log-Pearson Tipe III meliputi fleksibilitas dalam menangani data yang miring ke kanan dan konsistensi prosedural yang memudahkan perbandingan antar-stasiun; keterbatasan utamanya adalah sensitivitas terhadap outlier dan asumsi stasioneritas hidrologi—kondisi yang dapat dilanggar oleh perubahan iklim atau urbanisasi sehingga memerlukan verifikasi tren, analisis homogenitas, dan, bila perlu, pendekatan alternatif (mis. metode nonparametrik atau model yang memasukkan tren).

Uji Kecocokan Distribusi (Chi-Square)

Uji kecocokan distribusi (goodness of fit test) digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian antara distribusi probabilitas yang dipilih dengan karakteristik data curah hujan yang digunakan dalam penelitian. Pengujian tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa distribusi Log Pearson Tipe III mampu merepresentasikan pola sebaran data curah hujan harian maksimum sehingga hasil analisis frekuensi yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan curah hujan rencana. Oleh karena itu, uji kecocokan distribusi menjadi tahapan penting sebelum hasil analisis frekuensi diterapkan dalam perhitungan hidrologi berikutnya. (Jurnal Log Pearson III; Hattu et al., 2024)

Pengujian dapat menggunakan metode Chi-Square dengan membandingkan frekuensi hasil pengamatan (observed frequency) dengan frekuensi teoritis (expected frequency) yang diperoleh dari distribusi log Pearson tipe III. Nilai statistik Chi-Square yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai kritis pada tingkat signifikansi tertentu. Apabila nilai Chi-Square hitung lebih kecil daripada nilai Chi-Square tabel, maka distribusi yang digunakan dapat dipakai untuk memenuhi uji kecocokan sehingga layak digunakan dalam analisis curah hujan rencana.

Sebaliknya, apabila nilai Chi-Square hitung lebih besar daripada nilai tabel, distribusi tersebut dianggap tidak sesuai sehingga diperlukan pemilihan distribusi probabilitas lain yang lebih representatif. (Subakti et al., 2024)

Rumus Chi-Square:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Keterangan:

χ^2 = Nilai Chi-Square

O_i = Frekuensi hasil pengamatan

E_i = Frekuensi teoritis

i = Kelas data ke- i

Kriteria Pengujian:

Jika χ^2 hitung < χ^2 tabel, maka distribusi diterima.

Jika χ^2 hitung $\geq \chi^2$ tabel, maka distribusi ditolak.

Berdasarkan hasil uji kecocokan distribusi, distribusi Log Pearson Tipe III dinyatakan layak digunakan apabila nilai Chi-Square hitung lebih kecil daripada nilai Chi-Square tabel pada tingkat signifikansi yang ditetapkan. Hasil pengujian tersebut menjadi dasar dalam pemilihan distribusi probabilitas untuk menentukan curah hujan rencana yang selanjutnya digunakan pada tahap analisis intensitas hujan. Dengan demikian, curah hujan rencana yang diperoleh diharapkan mampu merepresentasikan karakteristik hidrologi wilayah penelitian sehingga dapat digunakan sebagai dasar perhitungan debit banjir dan perencanaan sistem drainase secara lebih akurat.

Analisis Intensitas Hujan (Metode Mononobe)

Intensitas hujan ialah salah satu parameter penting dalam analisis hidrologi yang digunakan untuk menggambarkan besarnya curah hujan yang terjadi dalam satuan waktu tertentu. Nilai intensitas hujan berpengaruh secara langsung terhadap besarnya debit limpasan yang dihitung menggunakan Metode Rasional, sehingga penentuannya harus dilakukan secara cermat sesuai dengan karakteristik data hujan dan kondisi daerah penelitian. Dalam penelitian ini, intensitas hujan dihitung menggunakan Metode Mononobe karena metode ini mampu mengonversi data curah hujan harian maksimum menjadi intensitas hujan untuk berbagai durasi hujan yang diperlukan dalam perencanaan sistem drainase. Penggunaan Metode Mononobe juga telah banyak diterapkan pada perencanaan drainase perkotaan maupun kawasan industri karena memberikan hasil yang representatif terhadap kondisi hidrologi di Indonesia. (Subakti et al., 2024)

Perhitungan intensitas hujan dilakukan berdasarkan nilai curah hujan rencana yang diperoleh dari analisis frekuensi menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III. Selanjutnya, intensitas hujan dihitung untuk durasi tertentu sesuai kebutuhan analisis menggunakan persamaan Mononobe. Nilai intensitas hujan yang diperoleh kemudian digunakan sebagai salah satu parameter utama dalam perhitungan debit banjir rencana menggunakan Metode Rasional pada tahap analisis berikutnya.

Rumus Mononobe:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R₍₂₄₎ = Curah hujan rencana 24 jam (mm)

t = Durasi hujan (jam)

Nilai intensitas hujan yang dihitung menggunakan Persamaan Mononobe berdasarkan curah hujan rencana hasil analisis frekuensi dengan distribusi Log Pearson Tipe III. Intensitas hujan yang diperoleh selanjutnya dapat digunakan sebagai parameter utama dalam perhitungan debit banjir rencana menggunakan Metode Rasional. Metode Mononobe digunakan berdasarkan kemampuannya mengonversi curah hujan harian menjadi intensitas hujan untuk berbagai durasi, sehingga metode ini banyak diterapkan dalam perencanaan sistem drainase di Indonesia. (Subakti et al., 2024)

Perhitungan Debit Banjir Rencana (Metode Rasional)

Perhitungan debit banjir rencana digunakan untuk mengetahui besarnya debit limpasan permukaan yang harus dialirkan oleh sistem drainase pada kawasan penelitian. Dalam penelitian ini, debit banjir dihitung menggunakan Metode Rasional karena metode ini sesuai diterapkan pada daerah tangkapan dengan luas relatif kecil dan banyak digunakan dalam perencanaan sistem drainase perkotaan maupun kawasan industri. Metode Rasional mempertimbangkan tiga parameter utama, yaitu koefisien limpasan (runoff coefficient), intensitas hujan, dan luas daerah tangkapan, sehingga mampu menggambarkan besarnya debit puncak akibat kejadian hujan rencana. (Subakti et al., 2024)

Nilai intensitas hujan yang diperoleh dari Metode Mononobe selanjutnya dikombinasikan dengan koefisien limpasan yang disesuaikan dengan karakteristik penutup lahan serta luas daerah tangkapan untuk menghitung debit banjir rencana menggunakan Persamaan Rasional. Pada penelitian ini, kawasan didominasi oleh permukaan kedap air berupa perkerasan beton dan bangunan industri sehingga menghasilkan koefisien limpasan yang relatif tinggi. Kondisi ini menyebabkan sebagian besar air hujan berubah menjadi limpasan permukaan yang harus dialirkan melalui sistem drainase. Hasil perhitungan debit banjir rencana kemudian digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kapasitas saluran drainase eksisting menggunakan Persamaan Manning

Rumus Metode Rasional:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Keterangan:

Q = Debit banjir rencana (m³/detik)

C = Koefisien limpasan

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan (km²)

0,278 = Faktor konversi satuan

Hasil perhitungan debit banjir rencana kemudian digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi kemampuan saluran drainase eksisting dalam mengalirkan limpasan permukaan. Jika kapasitas saluran lebih kecil daripada debit banjir rencana, maka diperlukan upaya peningkatan kapasitas sistem drainase melalui penyesuaian dimensi saluran maupun bangunan pelengkap. Dengan begitu, hasil analisis debit banjir menjadi dasar penyusunan rekomendasi perencanaan sistem drainase yang lebih efektif dan sesuai dengan kondisi eksisting kawasan penelitian.

Analisis Kapasitas Saluran (Persamaan Manning)

Analisis kapasitas saluran digunakan untuk mengevaluasi kemampuan saluran drainase eksisting dalam mengalirkan debit banjir rencana yang diperoleh dari metode rasional. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah dimensi saluran yang ada masih mampu menampung debit limpasan sesuai dengan kondisi hidrologi kawasan penelitian. Dalam penelitian ini, kapasitas saluran dihitung menggunakan Persamaan Manning karena metode tersebut merupakan salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran pada saluran terbuka dengan mempertimbangkan pengaruh kekasaran permukaan, kemiringan dasar saluran, serta kondisi geometrik saluran. (Subakti et al., 2024)

Perhitungan kapasitas saluran diawali dengan menentukan nilai jari-jari hidraulik berdasarkan dimensi saluran yang tersedia. Selanjutnya, kecepatan aliran dihitung menggunakan Persamaan Manning dengan mempertimbangkan koefisien kekasaran dan kemiringan dasar saluran. Nilai kecepatan aliran kemudian digunakan untuk menghitung kapasitas debit saluran yang selanjutnya dibandingkan dengan debit banjir rencana. Perbandingan tersebut dapat digunakan untuk menilai tingkat kecukupan kapasitas saluran dalam mengalirkan limpasan air hujan di kawasan penelitian.

Rumus Persamaan Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran (m/detik)

n = Koefisien kekasaran Manning

R = Jari-jari hidraulik (m)

S = Kemiringan dasar saluran (m/m)

Jari-jari Hidraulik:

$$R = \frac{A}{P}$$

Keterangan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

A = Luas penampang basah (m²)

P = Keliling basah (m)

Kapasitas Debit Saluran:

$$Q = A \times V$$

Keterangan:

Q = Kapasitas debit saluran (m³/detik)

A = Luas penampang basah (m²)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

Kapasitas debit saluran yang diperoleh dari hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan debit banjir rencana untuk mengevaluasi kinerja sistem drainase eksisting. Jika kapasitas saluran lebih besar atau sama dengan debit banjir rencana, maka saluran dinyatakan masih mampu mengalirkan limpasan secara optimal. Sebaliknya, jika kapasitas saluran lebih kecil daripada debit banjir rencana, maka perlu peningkatan kapasitas sistem drainase sebagai upaya untuk mengurangi potensi genangan di kawasan penelitian. Hasil evaluasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi perencanaan dimensi pipa outlet yang sesuai dengan kebutuhan sistem drainase

Hasil dan Pembahasan

Analisis Curah Hujan Maksimum Jangka Panjang

Data curah hujan harian maksimum dikumpulkan selama sepuluh tahun terakhir dari stasiun hujan terdekat yang melingkupi wilayah administrasi PT. DDD di Kabupaten Gresik. Rekapitulasi nilai ekstrem curah hujan disajikan secara kronologis pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan (2015–2024)

No	Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)	Curah Hujan Minimum (mm)
1	2015	324.0	12.5
2	2016	308.0	10.0
3	2017	310.2	5.0
4	2018	296.1	2.1
5	2019	330.5	5.0
6	2020	315.2	2.5
7	2021	340.1	2.1
8	2022	315.0	5.0
9	2023	310.2	12.0
10	2024	335.0	5.0

Perhitungan Statistik Distribusi Log-Pearson Tipe III

Seluruh data curah hujan maksimum pada Tabel 1 kemudian ditransformasikan ke dalam nilai logaritma berbasis 10 (**Log X**). Parameter statistik turunan yang meliputi nilai rata-rata logaritmik (**Mean**), standar deviasi (**S**), dan koefisien kemencengan (**C_s**) dihitung secara manual untuk memastikan presisi yang tinggi. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Analisis Sebaran Log-Pearson Tipe III

Tahun	X (mm)	Log X	(Log X - Mean)	(Log X - Mean) ²	(Log X - Mean) ³
2015	324.0	2.51055	0.00789	0.0000623	0.0000005
2016	308.0	2.48855	-0.01410	0.0001989	-0.0000028
2017	310.2	2.49164	-0.01101	0.0001213	-0.0000013
2018	296.1	2.47144	-0.03122	0.0009744	-0.0000304
2019	330.5	2.51917	0.01652	0.0002728	0.0000045
2020	315.2	2.49859	-0.00407	0.0000165	-0.0000001
2021	340.1	2.53161	0.02895	0.0008383	0.0000243
2022	315.0	2.49831	-0.00434	0.0000189	-0.0000001
2023	310.2	2.49164	-0.01101	0.0001213	-0.0000013
2024	335.0	2.52504	0.02239	0.0005014	0.0000112
Jumlah	3184.3	25.02654	-0.00000	0.0031260	0.0000045

Berdasarkan hasil komputasi dari Tabel 2, parameter statistik utama yang mendasari analisis adalah:

- Jumlah sampel data (n) = 10 tahun
- Rata-rata Nilai Logaritma ($\text{Mean} \overline{(\text{Log X})} = \frac{25.02654}{10} = 2.50265$)
- Standar Deviasi ($S_{(\text{Log X})} = \sqrt{\frac{0.0031260}{10-1}} = 0.01864$)
- Koefisien Kemencengan ($G \text{ ext(atau) } C_s = \frac{10 \text{ imes } 0.0000045}{((10-1)(10-2)(0.01864)^3)} = 0.09555$)

Nilai **C_s** sebesar 0,09555 mengonfirmasi bahwa distribusi sebaran memiliki kemencengan positif yang landai, sehingga pembacaan nilai Faktor Frekuensi (**K**) pada tabel eksponen interpolasi Tipe III dapat ditentukan secara presisi. Ekstrapolasi curah hujan rencana (**X_T**) untuk berbagai siklus periode ulang dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Proyeksi Curah Hujan Rencana Multi-Periode Ulang

Periode Ulang (T Tahun)	Peluang Eksedansi (P)	Faktor Frekuensi (K)	Log X _T	Curah Hujan Rencana X _T (mm)
-------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------------	--

2	50%	0.0159	2.50236	317.95
5	20%	0.8366	2.51825	329.80
10	10%	1.2913	2.52672	336.29
25	4%	1.7831	2.53589	343.47
50	2%	2.1046	2.54188	348.24
100	1%	2.3964	2.54731	352.63

Berdasarkan regulasi perencanaan tata ruang keairan untuk drainase mikro kawasan industri khusus, ditetapkan kriteria desain dengan periode ulang 10 tahun ($T = 10$ tahun). Berdasarkan kriteria ini, nilai curah hujan rencana ($X_{(10)}$) yang diadopsi sebesar 336,29 mm.

Validasi Model Melalui Uji Chi-Square (χ^2)

Untuk membuktikan keabsahan hipotesis bahwa distribusi Log-Pearson Tipe III serasi dan layak digunakan, dilakukan pengujian Chi-Square dengan membagi data ke dalam 5 interval kelas. Hasil komparasi frekuensi pengamatan aktual dan teoretis dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Uji Kecocokan Distribusi Chi-Square

No	Nilai Batas Kelas Interval (mm)	Frekuensi Pengamatan (O_i)	Frekuensi Harapan (E_i)	$(O_i - E_i)$	$(O_i - E_i)^2 / E_i$
1	$X \leq 306.82$	1	2.0	-1.0	0.50
2	$306.82 < X \leq 314.53$	3	2.0	1.0	0.50
3	$314.53 < X \leq 321.44$	2	2.0	0.0	0.00
4	$321.44 < X \leq 329.80$	1	2.0	-1.0	0.50
5	$X > 329.80$	3	2.0	1.0	0.50
Jumlah		10	10.0	0.0	χ^2 hitung = 2.00

Analisis Hipotesis Uji:

- Derajat kebebasan (df) dihitung melalui rumus: $df = G - 1 - p$. Di mana $G = 5$ kelas, dan p (jumlah parameter terestimasi: rata-rata dan standar deviasi) = 2. Maka, $df = 5 - 1 - 2 = 2$.
- Berdasarkan Tabel Distribusi Kritis Chi-Square, untuk nilai $df = 2$ dan batas taraf signifikansi $\alpha = 5\%$ (0,05), diperoleh nilai ambang batas kritis χ^2 tabel = 5,991.
- Kriteria Pengambilan Keputusan: Model matematis dinyatakan diterima dan sangat cocok apabila memenuhi kondisi: $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$.

- Karena nilai χ^2 hitung (2,00) < χ^2 tabel (5,991), secara absolut dapat disimpulkan bahwa hipotesis nol diterima. Artinya, Distribusi Log-Pearson Tipe III memiliki keselarasan yang tinggi dan valid untuk memproyeksikan curah hujan rencana PT. DDD.

Kuantifikasi Intensitas Hujan Rencana (Persamaan Mononobe)

Berdasarkan basis input nilai curah hujan rencana periode ulang 10 tahun ($R_{\{24\}} = 336,29$ mm), dilakukan penurunan nilai intensitas curah hujan berdasarkan durasi konsentrasi air (t). Hasil perhitungan simulasi Mononobe ditampilkan secara terperinci pada Tabel 5.

Tabel 5. Distribusi Nilai Intensitas Curah Hujan Rencana (mm/jam)

Durasi (Menit)	Durasi (Jam)	T = 2 Thn	T = 5 Thn	T = 10 Thn	T = 25 Thn	T = 50 Thn	T = 100 Thn
5	0.083	577.75	599.29	611.08	624.13	632.79	640.77
10	0.167	363.96	377.53	384.96	393.18	398.64	403.66
15	0.250	277.75	288.11	293.78	300.05	304.22	308.05
30	0.500	174.97	181.50	185.07	189.02	191.64	194.25
45	0.750	133.53	138.51	141.23	144.25	146.25	148.25
60	1.000	110.23	114.34	116.59	119.07	120.73	122.37
120	2.000	69.44	72.03	73.44	75.01	76.05	77.09

Dari hasil simulasi Tabel 5, terbukti adanya korelasi eksponensial negatif yang konsisten, di mana durasi hujan yang semakin pendek ($t = 5$ menit) Menghasilkan intensitas curah hujan kilat rencana yang sangat ekstrem, yaitu mencapai 611,08 mm/jam pada siklus 10 tahun.

Analisis Debit Banjir Limpasan Puncak Kawasan

Perhitungan debit banjir limpasan permukaan di area Central Workshop PT. DDD dieksekusi menggunakan persamaan rasional. Parameter koefisien limpasan (C) untuk kawasan industri padat yang didominasi oleh perkerasan jalan beton kedap air dan struktur bangunan pabrik ditetapkan sebesar 0,90 (artinya 90% volume air hujan langsung dikonversi menjadi limpasan permukaan). Luas tangkapan daerah penelitian (A) adalah 300 m² atau setara dengan 0,0003 km²

Berdasarkan perhitungan, debit puncak limpasan permukaan total akibat hujan rencana jangka pendek adalah:

$$Q = 0.278 \text{ imes } 0.90 \text{ imes } 611.08 \text{ imes } 0.0003 = 0.04587 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Saluran drainase tersier terbuka eksisting di area sekitar PT DDD memiliki penampang trapesium kecil dengan kapasitas alir terukur (Q_c) hanya sebesar 0,025 (m³/detik) akibat sedimentasi limbah padat pabrik dan kemiringan saluran yang kurang memadai. Hal ini membuktikan terjadinya kegagalan hidraulik ($Q > Q_c$) yang berakibat langsung pada meluapnya air dan pembentukan genangan air terkonsentrasi di titik cekungan terendah dengan total volume genangan stasioner sebesar 6 m³ (luas area genangan 60 m² dengan tebal genangan 0,10 m).

Perencanaan Sistem Outlet Baru Menggunakan Pipa PVC

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap kondisi drainase eksisting, diperlukan sistem outlet baru yang dapat membantu mengalirkan air dari titik genangan menuju saluran utama kawasan. Perencanaan outlet baru dilakukan menggunakan pipa PVC dengan beberapa alternatif diameter. Pemilihan beberapa alternatif diameter tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran pipa terhadap kemampuan pengaliran air dan waktu yang dibutuhkan untuk mengurangi genangan. Dalam penelitian ini digunakan tiga alternatif diameter pipa, yaitu 100 mm, 150 mm, dan 200 mm. Setiap alternatif memberikan kemampuan pengaliran yang berbeda sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan pilihan sistem outlet yang paling sesuai dengan kondisi kawasan.

Alternatif pertama menggunakan pipa PVC berdiameter 100 mm. Pipa dengan ukuran ini memiliki kapasitas pengaliran paling rendah dibandingkan alternatif lainnya, sehingga membutuhkan waktu sekitar 12,74 menit untuk mengalirkan volume genangan yang ada. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pipa berdiameter 100 mm masih dapat digunakan untuk mengalirkan genangan, tetapi proses pengurasannya berlangsung lebih lama. Kondisi ini dapat menjadi kurang menguntungkan apabila hujan terjadi kembali dalam waktu yang relatif singkat karena genangan sebelumnya belum sepenuhnya surut. Dengan demikian, diameter 100 mm lebih tepat dipandang sebagai alternatif dengan kemampuan pengaliran paling terbatas dalam perbandingan yang dilakukan.

Alternatif kedua menggunakan pipa PVC berdiameter 150 mm. Peningkatan diameter pipa dibandingkan dengan alternatif pertama meningkatkan kemampuan pengaliran sehingga waktu surut genangan menjadi lebih singkat, yaitu sekitar 5,66 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan diameter memberikan pengaruh nyata terhadap kinerja sistem outlet. Dibandingkan dengan pipa berdiameter 100 mm, penggunaan diameter 150 mm mampu mempercepat proses pengurangan genangan secara signifikan. Meskipun demikian, alternatif ini masih memiliki waktu surut yang lebih lama dibandingkan pipa berdiameter 200 mm, sehingga belum memberikan kinerja pengaliran tercepat dari seluruh alternatif yang dianalisis.

Alternatif ketiga menggunakan pipa PVC berdiameter 200 mm. Alternatif ini memiliki kapasitas pengaliran paling besar sehingga mampu mengurangi genangan dalam waktu paling singkat, yaitu sekitar 3,18 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan diameter pipa memberikan ruang aliran yang lebih besar sehingga air dapat dialirkan lebih cepat. Dalam konteks kawasan industri, waktu surut yang lebih singkat menjadi penting karena dapat mengurangi durasi gangguan akibat genangan terhadap mobilitas kendaraan, alat berat, dan aktivitas operasional di kawasan. Oleh karena itu, alternatif diameter 200 mm memiliki keunggulan dari sisi kinerja pengendalian genangan dibandingkan dengan dua alternatif lainnya.

Perbedaan waktu surut antara ketiga alternatif menunjukkan bahwa pemilihan diameter pipa tidak hanya berkaitan dengan ukuran fisik pipa, tetapi juga berpengaruh langsung terhadap efektivitas sistem pengendalian genangan. Semakin besar diameter pipa yang digunakan dalam alternatif penelitian, semakin besar pula kemampuan pengaliran yang dihasilkan dan semakin singkat waktu yang diperlukan untuk mengurangi genangan. Namun, pemilihan alternatif tetap perlu dilakukan secara sistematis agar keputusan yang diambil tidak hanya didasarkan pada pertimbangan bahwa pipa terbesar selalu menjadi pilihan terbaik.

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan Linear Programming untuk membantu menentukan alternatif outlet yang paling optimal. Metode tersebut digunakan karena terdapat beberapa alternatif diameter pipa dengan tingkat kinerja yang berbeda, sehingga diperlukan pendekatan matematis untuk menentukan pilihan berdasarkan fungsi tujuan dan batasan yang telah ditetapkan. Dalam model optimasi, tujuan utama diarahkan pada minimisasi waktu surut genangan dengan tetap memastikan bahwa volume genangan dapat dialirkan sepenuhnya dan hanya satu alternatif pipa yang dipilih. Dengan cara tersebut, proses pemilihan diameter pipa dapat dilakukan secara objektif dan terukur.

Hasil optimasi menunjukkan bahwa pipa PVC berdiameter 200 mm menjadi alternatif yang paling optimal karena menghasilkan waktu surut paling singkat dibandingkan alternatif lainnya. Kapasitas pengaliran yang dihasilkan mencapai 0,03140 m³/detik dan mampu mengalirkan seluruh volume genangan dalam waktu sekitar 3,18 menit. Secara teknis, hasil ini menunjukkan bahwa diameter 200 mm memberikan kinerja pengaliran terbaik dari alternatif yang diuji. Dari perspektif operasional kawasan industri, waktu surut yang singkat berpotensi mengurangi durasi genangan sehingga gangguan terhadap aktivitas operasional dan mobilitas di area Central Workshop dapat diminimalkan.

Dengan demikian, hasil perencanaan sistem outlet baru menunjukkan bahwa peningkatan diameter pipa berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan pengaliran dan percepatan waktu surut genangan. Namun, keputusan penggunaan diameter 200 mm dalam penelitian ini tidak semata-mata didasarkan pada ukuran pipa yang paling besar, melainkan diperoleh melalui proses perbandingan beberapa alternatif dan pemodelan optimasi Linear Programming. Dengan pendekatan tersebut, diameter 200 mm ditetapkan sebagai alternatif optimum berdasarkan tujuan penelitian, yaitu memperoleh waktu surut genangan yang paling minimum dengan tetap memenuhi batasan teknis pada sistem outlet. Hasil ini menjadi dasar rekomendasi untuk perencanaan outlet baru di area Central Workshop PT. DDD untuk meningkatkan efektivitas pengendalian genangan serta mendukung kelancaran aktivitas operasional di kawasan.

Formulasi dan Eksekusi Optimasi Linear Programming

Untuk memberikan landasan keputusan yang logis, matematis, dan akurat, dibuat pemodelan pemrograman linier biner (Linear Programming). Model dirancang untuk mencari opsi diameter pipa yang meminimalkan waktu genangan (*t*) dengan membatasi volume genangan di kawasan tersebut.

Formulasi Model LP:

1. Fungsi Tujuan (Minimasi Waktu Rendaman):

$$\text{Minimalkan } Z = \sum_{i=1}^3 t_i \cdot X_i = 12.74 X_1 + 5.66 X_2 + 3.18 X_3$$

2. Fungsi Kendala Teknis Kapasitas Volume Genangan:

$$(Q_1 \cdot t_1) X_1 + (Q_2 \cdot t_2) X_2 + (Q_3 \cdot t_3) X_3 \geq 6.0 \text{ m}_3$$

$$6.0 X_1 + 6.0 X_2 + 6.0 X_3 \geq 6.0$$

3. Fungsi Kendala Pilihan Tunggal Mutlak (Biner):

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1 \quad (\text{di mana } X_i \in \{0, 1\})$$

Tabel 6. Matriks Rekapitulasi Optimasi Hidraulis Outlet Pipa

Alternatif Pipa	Diameter (mm)	Luas Penampang (m ²)	Kapasitas Debit (m ³ /detik)	Waktu Surut (Menit)	Status Optimasi (Z)
PVC Alternatif 1	100	0.00785	0.00785	12.74	Sub-Optimum (X ₁ =0)
PVC Alternatif 2	150	0.01766	0.01766	5.66	Sub-Optimum (X ₂ =0)
PVC Alternatif 3	200	0.03140	0.03140	3.18	OPTIMUM (X ₃ =1)

Berdasarkan hasil pemecahan matriks pemrograman linear pada Tabel 6, nilai fungsi tujuan minimum mutlak ($Z_{\{min\}}$) dicapai secara eksklusif pada variabel keputusan $X_3 = 1$. Implementasi pipa PVC dengan diameter 200 mm membuktikan kinerja hidraulis superior, mampu menyalurkan debit buangan konstan sebesar 0,03140 m³/detik. Pipa ini dapat menguras habis seluruh akumulasi volume genangan 6 m³ dalam kurun waktu terpendek, yaitu hanya 3,18 menit. Langkah taktis ini secara efektif mengeliminasi risiko hambatan mobilitas alat berat serta menjaga kontinuitas operasional logistik di area Central Workshop PT. DDD.

Kesimpulan dan saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai perencanaan sistem drainase dalam pengendalian genangan pada kawasan industri PT. DDD menggunakan optimasi Linear Programming, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kondisi sistem drainase eksisting belum mampu mengatasi limpasan pada lokasi penelitian secara optimal. Kapasitas pengaliran saluran yang tersedia lebih kecil dibandingkan dengan debit limpasan yang terjadi pada kondisi hujan rencana. Kondisi tersebut menyebabkan air tidak dapat segera dialirkan dan berpotensi menimbulkan genangan di area Central Workshop PT. DDD. Dengan demikian, diperlukan peningkatan sistem pembuangan melalui perencanaan outlet baru untuk mempercepat pengaliran air dari titik genangan menuju saluran utama kawasan.
2. Permasalahan genangan pada lokasi penelitian dapat dikurangi melalui peningkatan kapasitas sistem outlet. Hasil perbandingan beberapa alternatif diameter pipa menunjukkan bahwa semakin besar kapasitas pengaliran outlet, semakin cepat genangan dapat dikurangi. Berdasarkan hasil optimasi, pipa PVC berdiameter 200 mm terpilih sebagai alternatif terbaik karena mampu memberikan waktu surut genangan paling singkat dibandingkan alternatif lainnya. Secara teknis, hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan diameter 200 mm dapat mempercepat pengosongan genangan sehingga durasi gangguan terhadap aktivitas operasional, mobilitas kendaraan dan alat berat, serta kegiatan logistik di area Central Workshop dapat diminimalkan.
3. Metode Linear Programming dapat digunakan untuk membantu menentukan alternatif outlet yang paling optimal. Dalam penelitian ini, metode tersebut digunakan untuk memilih diameter pipa dengan tujuan meminimalkan waktu surut genangan dengan tetap memenuhi batasan yang telah ditetapkan. Hasil optimasi memberikan keputusan yang lebih sistematis dalam

pemilihan diameter pipa sehingga alternatif yang dipilih tidak hanya didasarkan pada pertimbangan ukuran pipa, tetapi juga pada kinerja pengaliran dan tujuan pengendalian genangan yang ingin dicapai.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pihak pengelola kawasan PT. DDD dapat mempertimbangkan penerapan sistem outlet menggunakan pipa PVC berdiameter 200 mm sebagai salah satu alternatif penanganan genangan di area Central Workshop. Pelaksanaan di lapangan tetap perlu memperhatikan kondisi elevasi, kemiringan jalur pipa, posisi inlet dan outlet, serta keterhubungan dengan saluran utama agar sistem dapat berfungsi sesuai dengan hasil perencanaan.
2. Pemeliharaan sistem drainase secara berkala perlu dilakukan untuk menjaga kapasitas pengaliran tetap optimal. Pembersihan saluran dari sedimentasi, sampah, dan material lain yang dapat menghambat aliran perlu dilakukan secara rutin, terutama sebelum dan selama musim hujan. Pemeliharaan tersebut penting karena kapasitas sistem yang telah direncanakan dapat berkurang apabila terjadi penyumbatan atau penumpukan sedimen.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan analisis dengan menggunakan EPA SWMM sebagai tahap evaluasi lanjutan terhadap sistem drainase kawasan secara lebih menyeluruh. Penelitian ini telah menentukan alternatif diameter outlet yang optimal berdasarkan kondisi dan tujuan yang telah ditetapkan, tetapi analisis masih berfokus pada sistem outlet dan titik genangan sebagai objek penelitian. EPA SWMM dapat digunakan pada penelitian berikutnya untuk memodelkan hubungan antara daerah tangkapan, saluran drainase, dan outlet dalam satu sistem secara terintegrasi. Dengan pemodelan tersebut, peneliti selanjutnya dapat mengevaluasi kinerja sistem drainase secara keseluruhan ketika menghadapi berbagai kondisi hujan dan skenario limpasan, serta mengidentifikasi kemungkinan genangan di bagian lain kawasan. Dengan demikian, penggunaan EPA SWMM bukan untuk menggantikan hasil optimasi penelitian ini, melainkan untuk pengembangan analisis guna memvalidasi dan mengevaluasi kinerja sistem drainase secara lebih luas setelah alternatif outlet terbaik telah ditentukan.

Daftar Isi

- Cahyaningrum, P. A., Jamal, A., Surabaya, U. N., & Surabaya, K. (2024). *Analisis pengambilan keputusan pembangunan sistem drainase untuk mengatasi banjir di kota surabaya*. 2(5).
- Jayasooriya, V. M., Ng, A. W. M., Muthukumaran, S., & Perera, C. B. J. (2020). *Optimization of Green Infrastructure Practices in Industrial Areas for Runoff Management : A Review on Issues , Challenges and Opportunities*. 1–21.
- Kasus, S., Perusahaan, P., Embordir, A., & Mangkubumi, D. (2023). *Analisis Pemanfaatan Program Linear Untuk Alokasi Bahan Baku Dalam Rangka Memaksimalkan*

Keuntungan. 1(4).

Lingkungan, J. I., Rangga, M., Fadlurrohman, F., Lingkungan, S. T., Teknik, F., & Nasional, I. T. (2024). *Perencanaan Sistem Drainase Berkelanjutan di Daerah Aliran Sungai Cinambo dengan Konsep Low Impact Development*. 22(6), 1626–1636. <https://doi.org/10.14710/jil.22.6>.

Model Manajemen Air Hujan (SWMM) _ US EPA. (n.d.).

Optimasi Model Pseudo-genetik untuk Rehabilitasi Jaringan Drainase Air Hujan Perkotaan - ScienceDirect. (n.d.).

Raya, J., & Prasetyo, S. (2022). *Analisis Peta Rawan Banjir Metode Pembobotan dan Peta Genangan Banjir Metode NDWI terhadap Kejadian Banjir (Studi Kasus : Kabupaten Sidoarjo)*. 17(2), 232–244.