

DRAINAGE PLANNING AND PUMP OPTIMIZATION IN THE SAYUNG INDUSTRIAL AREA, DEMAK REGENCY

Article History:

Received
02 January 2026
Revised
21 January 2026
Accepted
04 February 2026

**MUHAMMAD REZA NURFAUZAN¹, FACHRUL
MADRAPRIYA²**

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Itenas, Indonesia

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Itenas, Indonesia
Email: rezanurfauzan1998@gmail.com

ABSTRAK

*Kawasan Industri Sayung sering mengalami genangan setinggi ± 30 cm akibat topografi datar (0-2 mdpl) dan beban limpasan hulu. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi sistem drainase eksisting dan menentukan kebutuhan optimalisasi pompa melalui analisis hidrologi Metode Rasional dan pemodelan hidrolika HEC-RAS 6.7. Hasil analisis curah hujan kala ulang 10 tahun menghasilkan intensitas 56,51 mm/jam dengan debit limpasan total hulu 0,98781 m³/det. Pada titik percabangan (*junction*), beban aliran ke Saluran Pantura Kiri disesuaikan menjadi 0,494 m³/det. Hasil pemodelan menunjukkan kapasitas efektif saluran hanya 0,33 m³/det, sehingga terdapat defisit kapasitas sebesar 0,164 m³/det. Optimalisasi difokuskan pada penambahan kapasitas pompa untuk menangani defisit tersebut guna mengendalikan genangan secara efektif.*

Kata kunci: *drainase kawasan industri, limpasan hulu, HEC-RAS, kapasitas pompa, defisit aliran*

ABSTRACT

The Sayung Industrial Area frequently experiences inundation of ± 30 cm due to flat topography (0-2 masl) and upstream runoff. This study aims to evaluate the existing drainage system and determine pump optimization requirements using Rational Method hydrological analysis and HEC-RAS 6.7 hydraulic modeling. Analysis of 10-year return period rainfall resulted in an intensity of 56.51 mm/h with a total upstream design runoff of 0.98781 m³/s. At the junction, the flow load entering the Left Pantura Channel is adjusted to 0.494 m³/s. Modeling results indicate an effective channel capacity of only 0.33 m³/s, leading to a 0.164 m³/s flow deficit. Optimization focuses on increasing pump capacity to handle this deficit to effectively control inundation..

Keywords: *industrial drainage, upstream runoff, HEC-RAS, pump capacity, flow deficit*



1. PENDAHULUAN

Kawasan Industri Sayung, Kabupaten Demak, merupakan wilayah pesisir yang memiliki kerentanan tinggi terhadap genangan air, terutama saat intensitas hujan tinggi. Limpasan permukaan dari daerah hulu mengalir menuju kawasan ini dan memberikan beban tambahan signifikan pada sistem drainase eksisting. Secara topografi, wilayah ini berada pada elevasi 0-2 meter di atas permukaan laut dengan kondisi lahan relatif datar.

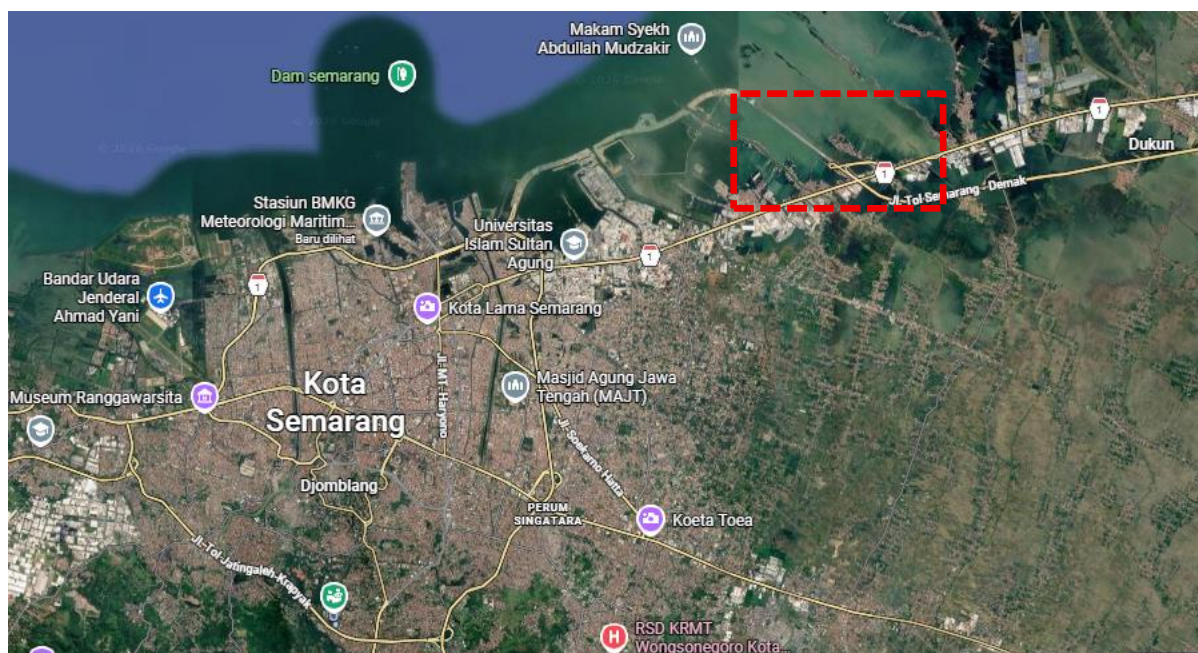
Kondisi tersebut menyebabkan aliran air secara gravitasi menuju saluran pembuang berlangsung sangat lambat. Berdasarkan data lapangan, tinggi genangan yang terjadi dapat mencapai ± 30 cm, yang mengganggu aksesibilitas, aktivitas produksi, serta distribusi barang. Permasalahan utama bersumber dari kapasitas saluran yang tidak memadai serta pengoperasian sistem pompa yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja sistem drainase menggunakan perangkat lunak HEC-RAS untuk memodelkan luapan dan menentukan kapasitas pompa yang dibutuhkan.

2. METODA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Industri Sayung dengan tahapan yang meliputi pengumpulan data, analisis hidrologi, pemodelan hidrolika, dan evaluasi pompa.

2.1 ANALISIS HIDROLOGI

Wilayah studi terletak di Kawasan Industri Sayung, Kabupaten Demak, Provinsi Jawa Tengah, yang secara geografis berada di dataran rendah dengan elevasi berkisar antara ± 0 hingga 2 meter di atas permukaan laut [2, 3]. Kondisi topografi yang sangat datar ini menyebabkan kecepatan aliran air secara gravitasi menjadi lambat, sehingga meningkatkan risiko genangan saat terjadi beban limpasan dari hulu [3, 4]. Lokasi wilayah penelitian serta titik pengamatan data curah hujan pada Stasiun BMKG Tanjung Mas ditunjukkan secara detail pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Kawasan Industri Sayung (Google Earth, 2025)

2.2 ANALISIS HIDROLOGI

Data curah hujan harian maksimum tahunan diperoleh dari Stasiun BMKG Tanjung Mas. Analisis probabilitas dilakukan menggunakan aplikasi AProb dengan empat jenis distribusi: Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III. Hujan rencana ditetapkan dengan kala ulang 10 tahun sesuai standar kawasan industri. Intensitas hujan dihitung menggunakan Metode Mononobe (Persamaan 1):

$$I = (R24 / 24) \times (24 / t)^{2/3} \quad (1)$$

Debit limpasan dihitung dengan Metode Rasional (Persamaan 2), di mana nilai koefisien limpasan (C) ditentukan berdasarkan karakteristik tata guna lahan industri.

$$Q = C \times I \times A \quad (2)$$

2.3 PEMODELAN HIDROLIKA (HEC-RAS)

Pemodelan dilakukan menggunakan HEC-RAS versi 6.7 dengan pendekatan aliran satu dimensi (*steady flow*). Data geometri mencakup bentuk penampang (persegi/trapesium), lebar dasar, dan kemiringan dasar saluran. Kondisi batas (*boundary conditions*) pada hilir Sungai Pantura Kiri ditetapkan menggunakan *known water surface* (Known WS) setinggi 0,30 meter di atas tebing untuk mensimulasikan genangan eksisting.

2.4 ANALISIS POMPA

Kebutuhan pompa dihitung berdasarkan defisit antara debit limpasan rencana (Qrencana) dan kapasitas efektif saluran secara gravitasi (Qefektif) yang diperoleh dari output HEC-RAS.



Gambar 2. Limpasan pada Lokasi Kawasan Industri Sayung

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 ANALISIS PROBABILITAS DAN INTENSITAS HUJAN

Berdasarkan uji kecocokan distribusi menggunakan AProb, Distribusi Gumbel terpilih sebagai metode yang paling sesuai dengan karakteristik data hujan mengindikasikan bahwa data curah hujan harian maksimum tahunan di Stasiun BMKG Tanjung Mas memiliki karakteristik sebaran nilai ekstrem klasik yaitu *skewness* positif yang konsisten dengan asumsi teoritis distribusi nilai ekstrem tipe I (Extreme Value Type I). Curah hujan rencana kala ulang 10 tahun menghasilkan intensitas hujan sebesar 56,51 mm/jam.

Tabel 1. Perhitungan Debit Limpasan Metode Rasional

Kala Ulang (th)	C	I (mm/jam)	A (Ha)	Q (m ³ /det)
10	0,8	56,51	7,81	0,98781

3.2 ANALISIS KAPASITAS SALURAN EKSISTING

Debit total hulu sebesar 0,98781 m³/det mengalir menuju titik percabangan. Aliran terbagi menjadi dua arah, yaitu Sungai Pantura Kanan dan Sungai Pantura Kiri. Untuk keperluan analisis pada area terdampak genangan, beban aliran pada Sungai Pantura Kiri disesuaikan menjadi 0,494 m³/det.

Beda elevasi 0,2 m sepanjang 1,1 km menghasilkan kemiringan dasar saluran (S_0). Nilai ini termasuk kategori sangat landai (*extremely mild slope*). Untuk konteks, kemiringan saluran drainase kota yang dianggap "landai" pada umumnya masih berada pada kisaran 0,05–0,1%; kemiringan 0,018% berada satu orde besaran di bawahnya. Implikasi teknisnya:

- Aliran pada kondisi ini hampir pasti berada pada rezim subkritis ($Fr < 1$) yang sangat didominasi oleh kontrol hilir (*downstream-controlled flow*), bukan oleh kapasitas hidrolis saluran itu sendiri (kemiringan, kekasaran Manning, atau geometri penampang). Artinya, memperbesar penampang saluran semata (tanpa mengatasi kondisi muka air di hilir) kemungkinan tidak akan banyak menambah kapasitas efektif, karena aliran tertahan oleh *backwater* dari Known WS +0,30 m di hilir.
- Ini juga menjelaskan mengapa kapasitas efektif hasil simulasi (0,33 m³/det) jauh lebih kecil dibanding kapasitas "teoretis" jika dihitung dengan rumus Manning pada kondisi aliran normal (*normal depth*) tanpa pengaruh *backwater* sebuah perbandingan yang sangat berharga untuk ditambahkan pada bagian hasil, yaitu Q_{normal} (Manning) vs $Q_{efektif}$ (HEC-RAS dengan *backwater*), untuk secara kuantitatif menunjukkan seberapa besar penurunan kapasitas akibat pengaruh muka air hilir.

Hasil simulasi HEC-RAS menunjukkan perbedaan perilaku aliran pada kedua cabang sungai:

- Sungai Pantura Kanan: Masih mampu mengalirkan debit secara gravitasi menuju Sungai Babon tanpa luapan
- Sungai Pantura Kiri: Memiliki kemiringan sangat datar (beda elevasi 0,2 m pada panjang 1,1 km). Pada kondisi genangan eksisting, kapasitas efektifnya hanya 0,33 m³/det.

Perbedaan perilaku antara Pantura Kanan (mampu mengalir gravitasi tanpa luapan menuju Sungai Babon) dan Pantura Kiri (defisit) mengindikasikan bahwa persoalan bersifat lokal-spesifik pada satu cabang saluran, bukan persoalan sistemik seluruh kawasan. Ini penting secara praktis:

- Solusi optimalisasi dapat difokuskan secara presisi pada segmen Pantura Kiri saja, sehingga lebih efisien dari sisi biaya dibanding solusi struktural menyeluruh di seluruh kawasan
- Namun, perlu didalami apakah pembagian debit di titik percabangan ($0,494 \text{ m}^3/\text{det}$ ke Pantura Kiri dari total $0,988 \text{ m}^3/\text{det}$, atau sekitar 50%) merupakan hasil pemodelan hidrolika titik cabang (berdasarkan geometri dan elevasi masing-masing cabang), atau merupakan asumsi pembagian rasio tetap. Jika berdasarkan simulasi hidrolika riil pada junction, kondisi ini bisa berubah secara dinamis tergantung level pasang di kedua muara sehingga rasio 50:50 mungkin hanya representatif untuk satu skenario kondisi batas tertentu, bukan kondisi umum.

Penggunaan pendekatan *steady flow* (bukan *unsteady flow*) berarti model hanya menghitung profil muka air pada satu nilai debit puncak konstan, dan tidak menangkap dinamika temporal seperti:

- Waktu naik (*rise time*) dan waktu surut genangan
- Interaksi pasang-surut yang berubah terhadap waktu (Known WS tetap $0,30 \text{ m}$ sepanjang simulasi, padahal kondisi rob bersifat siklis 2 kali sehari)
- Volume total genangan (bukan hanya debit puncak), yang sebenarnya lebih relevan untuk menentukan durasi operasi pompa dan kapasitas tampungan yang dibutuhkan.

Hal tersebut layak disebutkan sebagai batasan model, dan menjadi rekomendasi pengembangan penelitian lanjutan menggunakan HEC-RAS unsteady flow atau HEC-RAS 2D untuk merepresentasikan genangan secara spasial-temporal lebih akurat.

3.3 DEFISIT KAPASITAS DAN KEBUTUHAN POMPA

Perbandingan antara debit limpasan rencana ($0,494 \text{ m}^3/\text{det}$) dan kapasitas efektif ($0,33 \text{ m}^3/\text{det}$) menunjukkan adanya defisit sebesar $0,164 \text{ m}^3/\text{det}$. Angka ini merepresentasikan volume air yang tidak dapat terbuang secara alami dan menjadi penyebab utama genangan di kawasan industri.

Tabel 2. Estimasi Kebutuhan Pompa Sungai Pantura Kiri

Parameter	Nilai	Satuan
Debit Limpasan Rencana	0,494	m^3/det
Kapasitas Efektif Gravitasi	0,33	m^3/det
Defisit Aliran (Kebutuhan Pompa)	0,164	m^3/det

Defisit $0,164 \text{ m}^3/\text{det}$ (setara ± 164 liter/detik atau $\pm 590 \text{ m}^3/\text{jam}$) merupakan debit puncak sesaat, bukan volume total genangan. Ini adalah perbedaan konseptual penting yang perlu ditegaskan dalam pembahasan:

- Kapasitas pompa yang dipasang berdasarkan debit puncak akan menjaga muka air tidak naik lebih lanjut pada saat beban puncak, namun tidak serta-merta mengosongkan genangan $\pm 30 \text{ cm}$ yang sudah terjadi. Untuk mengosongkan genangan eksisting dalam waktu operasional yang wajar (misalnya dalam 2-4 jam), diperlukan kapasitas pompa tambahan di atas angka defisit murni idealnya dihitung dari volume genangan (luas genangan $\times 0,30 \text{ m}$) dibagi target waktu pengosongan.

- b. Sebagai ilustrasi kasar jika luas area tergenang di sekitar Pantura Kiri diasumsikan mencapai puluhan hektare, volume genangan 0,30 m dapat mencapai puluhan ribu m³ jauh melampaui apa yang bisa ditangani hanya oleh kapasitas 0,164 m³/det dalam durasi hujan itu sendiri. Faktor ini penting didiskusikan secara eksplisit agar pembaca tidak salah mengartikan bahwa pompa 0,164 m³/det akan menghilangkan genangan ±30 cm yang sudah eksisting.

Angka defisit 0,164 m³/det sebaiknya tidak langsung dijadikan kapasitas terpasang pompa (*installed capacity*), melainkan sebagai kapasitas operasional minimum. Praktik teknis kelaziman meliputi:

- a. Faktor keamanan 1,1-1,25 untuk mengakomodasi ketidakpastian hidrologi (kesalahan estimasi C, I, tc) dan penurunan efisiensi pompa seiring waktu (*fouling*, keausan *impeller*, sedimentasi pada *intake*)
- b. Konfigurasi N+1 (redundansi): idealnya kapasitas total dibagi ke dalam 2-3 unit pompa lebih kecil (bukan 1 unit besar), sehingga bila satu unit mengalami perawatan/kerusakan, kapasitas cadangan tetap tersedia. Misalnya menggunakan 2 unit @0,12 m³/det (kombinasi menghasilkan 0,24 m³/det, salah satu bisa nonaktif tanpa kehilangan kapasitas minimum).

Karena kondisi batas hilir sudah dipengaruhi kondisi genangan/pasang (Known WS +0,30 m), maka head total pompa (Total Dynamic Head/TDH) akan bervariasi tergantung level pasang saat pompa beroperasi. Ini berimplikasi pada efisiensi pompa akan menurun saat muka air laut sedang pasang tinggi (head lebih besar), sehingga debit aktual pompa di lapangan bisa lebih rendah dari kapasitas nominal pada kondisi tersebut perlu dicantumkan kurva pompa (*pump curve*) vs sistem (*system head curve*) dalam desain detail selanjutnya, bukan sekadar spesifikasi debit tunggal.

3.4 STRATEGI OPTIMALISASI

Optimalisasi dilakukan melalui penambahan kapasitas pompa minimum sebesar 0,164 m³/det. Selain itu, strategi pengoperasian harus diatur berdasarkan elevasi muka air kritis di saluran guna memastikan pompa bekerja efektif saat debit puncak.

- a. Desain Stasiun Pompa
 - Jumlah dan konfigurasi unit: minimal 2 unit pompa submersible dengan skema N+1, total kapasitas terpasang $\geq 1,2 \times 0,164 \text{ m}^3/\text{det} \approx 0,20 \text{ m}^3/\text{det}$, dibagi menjadi misalnya $2 \times 0,10 \text{ m}^3/\text{det}$ atau $3 \times 0,07 \text{ m}^3/\text{det}$ tergantung ketersediaan produk pasar dan kebutuhan pentahapan (*staging*) operasi.
 - Sumur basah (*wet well*): perlu dirancang dengan volume tampungan cukup untuk mencegah *short cycling* (pompa hidup-mati terlalu sering yang memperpendek umur motor), idealnya menampung debit inflow selama minimal 2-5 menit siklus operasi.
- b. Kontrol Operasi Otomatis Berbasis Elevasi
 - Pemasangan sensor level otomatis (*float switch* atau *ultrasonic level sensor*) dengan elevasi pemicu bertingkat (*staging*), pompa pertama aktif pada elevasi muka air kritis awal, pompa kedua aktif jika muka air terus naik melewati ambang berikutnya sehingga operasi efisien secara energi dan tidak seluruh kapasitas pompa aktif bersamaan pada kondisi debit rendah.
 - Sinkronisasi jadwal operasi dengan jadwal pasang surut mengoptimalkan pembuangan gravitasi saat air laut surut (mengurangi beban kerja pompa) dan mengaktifkan pompa secara maksimal saat pasang tinggi ketika gravitasi tidak lagi efektif.
- c. Solusi Struktural Pendukung (Non-Pompa)

- Klep/pintu otomatis (*flap gate/tide gate*) di outlet saluran menuju Sungai Pantura Kiri untuk mencegah aliran balik (*backflow*) saat pasang tinggi, yang jika tidak dikendalikan justru menambah beban muka air di saluran internal.
 - Kolam retensi/tampungan sementara (*detention pond*) di titik strategis hulu saluran Pantura Kiri, untuk meredam puncak debit (*peak shaving*) sehingga kapasitas pompa terpasang dapat lebih kecil dan biaya operasi lebih rendah solusi ini juga mengurangi risiko jika terjadi hujan dengan kala ulang lebih besar dari desain (10 tahun).
 - Pengerukan dan pemeliharaan rutin (*desilting*): mengingat kemiringan saluran sangat landai (0,018%), saluran ini sangat rentan sedimentasi yang dapat menurunkan kapasitas efektif dari waktu ke waktu; program pemeliharaan berkala perlu menjadi bagian integral dari strategi, bukan hanya solusi satu kali (*one time*).
- d. Mitigasi di Sisi Hulu (Sumber Limpasan)
Mengingat koefisien limpasan $C = 0,8$ (karakteristik lahan industri dengan tutupan kedap air tinggi), penerapan konsep *Low Impact Development* (LID) di kawasan hulu seperti sumur resapan, biopori, atau kolam retensi on-site di masing-masing kavling industri dapat mengurangi debit puncak yang harus ditangani sistem drainase dan pompa secara keseluruhan, sehingga menurunkan beban investasi infrastruktur pompa jangka panjang.
- e. Estimasi Biaya dan Operasional (Rekomendasi Pengembangan)
Bagian strategi optimalisasi akan lebih kuat bila dilengkapi estimasi kebutuhan daya listrik pompa (berdasarkan debit, head, dan efisiensi pompa), estimasi biaya investasi (CAPEX) dan operasional (OPEX), serta perbandingan skenario (pompa saja vs kombinasi pompa + kolam retensi + LID) dari sisi efektivitas biaya (*cost-effectiveness*).

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

- a. Analisis hidrologi menghasilkan intensitas hujan rencana sebesar 56,51 mm/jam
- b. Debit limpasan rencana yang masuk ke Sungai Pantura Kiri adalah 0,494 m³/det
- c. Kapasitas efektif saluran secara gravitasi sangat terbatas, yakni hanya 0,33 m³/det
- d. Terdapat defisit kapasitas sebesar 0,164 m³/det yang memicu genangan permanen ± 30 cm.

Diperlukan penambahan unit atau kapasitas pompa sebesar 0,164 m³/det serta perbaikan pola operasi untuk menanggulangi genangan di Kawasan Industri Sayung.

DAFTAR RUJUKAN

- Anonim. (1997). **Drainase Perkotaan**. Jakarta: Gunadarma.
- Brunner, G. W. (2016). *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. Davis: US Army Corps of Engineers.
- McGuen, R. H. (1989). *Hydrology and Flood Plain Analysis. Upper Saddle River: Prentice Hall*.
- Muliati, Y. (2016). Diktat Kuliah Rekayasa Pelabuhan. Bandung: Teknik Sipil Itenas.
- Suripin. (2003). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.