

## Perancangan Sistem Drainase Pintar Berbasis Artificial Intelligence Menggunakan Metode Generate and Test

Rendra Bintang Revolusi<sup>\*1</sup>, Nonot Wisnu Karyanto<sup>\*2</sup>, Anang Kukuh Adisusilo<sup>\*3</sup>

Email: renvbluu@mhs.uwks.ac.id, nonot@uwks.ac.id, anang65@uwks.ac.id

### Abstrak

Sistem drainase merupakan bagian penting dalam pengelolaan lingkungan perkotaan untuk mengurangi risiko banjir akibat peningkatan debit air. Permasalahan yang sering muncul pada drainase konvensional adalah lambatnya proses pemantauan kondisi saluran serta keterlambatan penanganan ketika terjadi kenaikan permukaan air atau penyumbatan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem drainase pintar berbasis *Artificial Intelligence* dengan menerapkan metode *Generate and Test* sebagai pendekatan pengambilan keputusan otomatis. Sistem memanfaatkan beberapa sensor, seperti sensor ketinggian air, sensor curah hujan, dan sensor aliran air untuk memperoleh informasi kondisi lingkungan secara langsung. Data yang diperoleh kemudian diproses untuk menentukan tindakan yang sesuai, seperti mengaktifkan pompa air, membuka pintu air, maupun memberikan peringatan dini apabila terjadi potensi luapan air dan sumbatan saluran. Berdasarkan hasil pengujian, metode *Generate and Test* mampu menghasilkan jalur keputusan terbaik dengan total biaya 6 langkah melalui jalur  $S0 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \rightarrow S3 \rightarrow S4 \rightarrow S5 \rightarrow S6$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu bekerja secara otomatis dalam mengendalikan aliran air sehingga dapat membantu meminimalkan risiko banjir serta menjaga kondisi lingkungan tetap aman dan terkendali.

**Kata kunci:** *Artificial Intelligence*, drainase pintar, *Generate and Test*, pengendalian banjir, sistem otomatis

### Abstract

*Drainage systems play an important role in urban environmental management to reduce the risk of flooding caused by increasing water discharge. One of the common problems found in conventional drainage systems is the slow monitoring process and delayed response when water levels rise or blockages occur. This study aims to design a smart drainage system based on Artificial Intelligence by implementing the Generate and Test method as an automatic decision-making approach. The system utilizes several sensors, including water level sensors, rainfall sensors, and water flow sensors to obtain real-time environmental data. The collected data are processed to determine appropriate actions, such as activating water pumps, opening floodgates, and sending early warnings in the event of potential overflow or drainage blockage. Based on the testing results, the Generate and Test method produced the optimal decision path with a total cost of 6 steps through the path  $S0 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \rightarrow S3 \rightarrow S4 \rightarrow S5 \rightarrow S6$ . The results indicate that the proposed system is capable of automatically controlling water flow, thereby helping to minimize flood risk and maintain environmental safety and stability.*

**Keywords:** *Artificial Intelligence, flood control, Generate and Test, smart drainage, automated system*

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan mendorong munculnya berbagai solusi cerdas untuk mendukung pengelolaan infrastruktur perkotaan, termasuk sistem drainase. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pengendalian banjir perkotaan dapat ditingkatkan melalui pemantauan waktu nyata, analisis prediktif, dan pengendalian pompa otomatis agar sistem lebih responsif terhadap curah hujan ekstrem. Hal ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis kecerdasan buatan dapat membantu proses pengambilan keputusan yang lebih cepat dan adaptif dalam menghadapi perubahan kondisi air di lapangan [1].

Permasalahan banjir di wilayah perkotaan masih sering terjadi akibat kapasitas saluran drainase yang tidak memadai, meningkatnya volume limpasan air, serta keterlambatan dalam mendeteksi gangguan pada saluran. Penelitian tentang sistem drainase pintar menunjukkan bahwa integrasi IoT, AI, dan pemantauan real-time mampu mendeteksi sumbatan, mengatur aliran air secara dinamis, serta memberikan peringatan dini terhadap potensi luapan air. Dengan demikian, sistem drainase tidak lagi hanya berfungsi sebagai saluran pembuangan, tetapi juga sebagai sarana pengendalian risiko banjir secara otomatis [2].

Selain itu, pengembangan sistem pengendalian banjir berbasis AI juga diarahkan pada pemanfaatan data hidrologi, otomasi kontrol, dan arsitektur pemantauan seperti SCADA untuk mendukung

keputusan operasional yang lebih akurat. Pendekatan tersebut terbukti dapat meningkatkan ketahanan operasional, akurasi prediksi banjir, dan efisiensi pengelolaan aliran air pada wilayah rawan banjir. Temuan ini menjadi dasar penting dalam merancang sistem drainase pintar yang mampu bekerja secara responsif terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah [3].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang sistem drainase pintar berbasis *\*Artificial Intelligence\** yang mampu memantau kondisi lingkungan dan menentukan tindakan secara otomatis. Sistem yang diusulkan memanfaatkan parameter seperti ketinggian air, intensitas hujan, kecepatan aliran, status pompa, dan kondisi sumbatan untuk menghasilkan keputusan yang tepat. Dalam proses pencarian solusi, penelitian ini menggunakan pendekatan *\*heuristic search\** seperti *\*Generate and Test\**, *\*Hill Climbing\**, *\*Greedy Algorithm\**, dan *\*A\** Algorithm untuk membandingkan efektivitas jalur keputusan menuju kondisi aman. Melalui penelitian ini, diharapkan sistem yang dibangun dapat membantu mengurangi risiko banjir dan menjaga lingkungan tetap aman.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merancang sistem drainase pintar berbasis Artificial Intelligence (AI) yang mampu memantau kondisi lingkungan dan menentukan tindakan pengendalian aliran air secara otomatis. Metode yang digunakan meliputi pemodelan agen, formulasi ruang keadaan (state space), serta penerapan algoritma heuristic search untuk menentukan jalur keputusan terbaik menuju kondisi aman.

### 2.1 Desain Sistem

#### A. Model Page

Sistem dirancang sebagai agen cerdas yang memiliki komponen Percept, Action, Goal, dan Environment.

Komponen PAGE:

|                 |   |                                                                                  |
|-----------------|---|----------------------------------------------------------------------------------|
| Percept (Input) | : | Ketinggian air, intensitas curah hujan, kecepatan aliran, status pompa, sumbatan |
| Action          | : | Mengaktifkan/mematikan pompa, mengirim peringatan sumbatan dan luapan            |
| Goal            | : | Mencegah luapan, menjaga ketinggian air aman, mengontrol aliran otomatis         |
| Environment     | : | Saluran drainase, sungai/kanal, sensor, pompa, area permukiman                   |

### 2.2 Alur Kerja Sistem

- Jika sensor mendeteksi adanya hujan : Maka sistem akan mulai melakukan monitoring kondisi drainase secara real-time
- Jika ketinggian air mulai meningkat : Maka sistem akan masuk ke kondisi siaga
- Jika ketinggian air mencapai batas tertentu : Maka pintu air akan terbuka secara otomatis
- Jika volume air semakin tinggi : Maka pompa air akan diaktifkan untuk mengurangi debit air
- Jika sensor mendeteksi adanya sumbatan saluran : Maka sistem akan mengirimkan peringatan sumbatan
- Jika air berpotensi meluap : Maka sistem akan mengirimkan peringatan bahaya banjir
- Jika ketinggian air mulai menurun : Maka sistem akan mengurangi aktivitas pompa air
- Jika kondisi air kembali normal : Maka pompa air akan dimatikan dan pintu air ditutup
- Jika tidak terjadi hujan dan kondisi drainase stabil : Maka sistem akan kembali ke kondisi standby dan melakukan monitoring otomatis

### 2.3 Formulasi Problem

#### A. State

State merepresentasikan kondisi lingkungan yang diamati oleh sistem drainase pintar pada setiap waktu: Status ketinggian air: normal, meningkat, tinggi, sangat tinggi, Status cuaca: tidak hujan, hujan ringan, hujan deras, Status pompa air: mati, aktif, Status pintu air: tertutup, terbuka, Status saluran drainase: normal, tersumbat

#### B. Possible Action

Aksi-aksi yang dapat dilakukan sistem berdasarkan kondisi yang terdeteksi: Deteksi kondisi lingkungan menggunakan sensor, Monitoring ketinggian air, Membuka pintu air, Mengaktifkan pompa air, Mengurangi aktivitas pompa, Menutup pintu air, Mengirim peringatan sumbatan, Mengirim peringatan luapan air

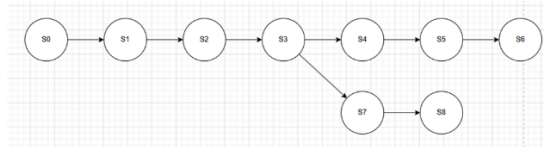
#### C. Goal Cost

Goal Test adalah kondisi yang menandakan tujuan sistem telah tercapai. Sistem dinyatakan berhasil apabila seluruh kondisi berikut terpenuhi secara bersamaan: Ketinggian air kembali normal, Tidak terjadi luapan air, Pompa air berhenti (mati), Pintu air tertutup, Sistem kembali dalam kondisi standby

#### D. Path Cost

Setiap aksi yang dilakukan sistem memiliki biaya yang sama (Uniform Cost = 1). Artinya, setiap perpindahan dari satu state ke state berikutnya dihitung sebagai satu satuan biaya, tanpa mempertimbangkan kompleksitas aksi.

#### 2.4 State Graph



**Gambar 1** (Gambar menunjukkan state graph dari sistem Drainase Pintar)

Penjelasan:

$S0 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \rightarrow S3$

- S0: Kondisi awal sistem drainase (\*initial state\*).
- S1: Sistem mendeteksi hujan mulai turun melalui sensor hujan.
- S2: Ketinggian air mulai meningkat dan sistem masuk kondisi siaga.
- S3: Ketinggian air berada pada level tinggi sehingga sistem mulai melakukan pengendalian aliran air.

Percabangan S3 ke S4 dan S7

- $S4 \rightarrow S5 \rightarrow S6$ : Jalur normal pengendalian berhasil  $\rightarrow$  pompa air aktif, air mulai turun, kemudian sistem kembali ke kondisi aman.
- $S7 \rightarrow S8$ : Jalur gangguan sistem  $\rightarrow$  terjadi sumbatan saluran sehingga air meluap (\*overflow\*).
- $S4 \rightarrow S5 \rightarrow S6$
- Ini merupakan jalur utama sistem setelah pompa berhasil diaktifkan:
- S4: Pompa air aktif untuk mengurangi debit air.
- S5: Ketinggian air mulai menurun dan kondisi drainase mulai stabil.
- S6: \*Goal state\*  $\rightarrow$  kondisi air kembali normal, pompa berhenti, dan sistem kembali \*standby\*.

$S3 \rightarrow S7$

- Jalur alternatif ketika sistem mendeteksi adanya sumbatan pada saluran drainase sehingga aliran air terganggu.

$S7 \rightarrow S8$

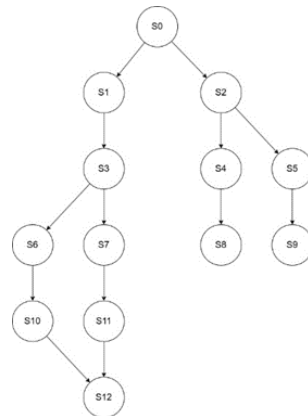
- S7: Saluran drainase mengalami penyumbatan.
- S8: Air meluap (\*overflow\*) karena aliran air tidak dapat mengalir dengan normal.

$S5 \rightarrow S6$

Proses akhir sistem:

- S5: Sistem melakukan monitoring akhir setelah debit air menurun.
- S6: Kondisi drainase kembali aman dan stabil sehingga sistem kembali ke kondisi awal monitoring otomatis.

#### 2.5 Tree Terminology



**Gambar 2** (Gambar 2 menunjukan tree terminology sistem Drainase Pintar)

Penjelasan :

- S0 (Kondisi Awal): Sistem drainase pintar dalam keadaan \*standby\*, sensor aktif, dan kondisi air masih normal.
- S1 (Hujan Mulai Turun): Sensor hujan mendeteksi curah hujan mulai turun pada area drainase.
- S2 (Hujan Semakin Deras): Intensitas hujan meningkat sehingga debit air pada saluran mulai bertambah.
- S3 (Air Tinggi): Ketinggian air mencapai batas siaga dan sistem mulai melakukan pengendalian aliran air.
- S4 (Air Mulai Meluap): Volume air semakin meningkat dan terdapat potensi luapan pada saluran drainase.
- S5 (Air Semakin Tinggi): Kondisi air berada pada tingkat darurat sehingga diperlukan tindakan cepat dari sistem.
- S6 (Mengaktifkan Pompa): Sistem mengaktifkan pompa air untuk mengurangi debit air pada saluran drainase.
- S7 (Pompa Menyala Maksimal): Pompa bekerja pada kapasitas maksimum untuk mempercepat penurunan volume air.
- S8 (Air Mulai Turun): Debit air mulai berkurang setelah proses pemompaan dilakukan.
- S9 (Status Darurat Terkendali): Kondisi darurat berhasil dikendalikan dan luapan air mulai berkurang.
- S10 (Air Berkurang Signifikan): Ketinggian air menurun secara signifikan menuju kondisi normal.
- S11 (Sistem Menstabilkan Aliran Air): Sistem melakukan monitoring dan penyesuaian akhir agar aliran air kembali stabil.
- S12 (Kondisi Aman): Kondisi drainase kembali normal, pompa dimatikan, dan sistem kembali ke kondisi \*standby\*.

## 2.6 Heuristic Search

Tabel Perhitungan

| No | Jalur                                      | Valid | Total Cost |
|----|--------------------------------------------|-------|------------|
| 1  | S0 → S1 → S2 → S3 → S4 → S5 → S6           | Ya    | 6          |
| 2  | S0 → S1 → S2 → S3 → S7 → S8                | Tidak | 5          |
| 3  | S0 → S1 → S2 → S3 → S7 → S3 → S4 → S5 → S6 | Ya    | 8          |
| 4  | S0 → S1 → S2 → S3 → S4 → S3 → S4 → S5 → S6 | Ya    | 8          |
| 5  | S0 → S1 → S2 → S3 → S7                     | Tidak | 4          |

**Tabel 1** (Tabel 1 Menunjukkan Perhitungan Heuristic Search – Generate And Test)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini menjelaskan implementasi sistem drainase pintar berbasis Artificial Intelligence menggunakan metode Generate and Test. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memonitor kondisi lingkungan, mendeteksi perubahan kondisi drainase, serta menentukan tindakan otomatis berdasarkan state yang terjadi. Sistem diuji menggunakan beberapa kondisi, seperti hujan deras, peningkatan debit air, sumbatan saluran, dan kondisi luapan air.

#### 3.1 Hasil Representasi State Space

Pada penelitian ini, representasi state space digunakan untuk menggambarkan perubahan kondisi sistem dari initial state hingga mencapai goal state. Berdasarkan Gambar 1, state awal dimulai dari kondisi normal (S0), yaitu saat ketinggian air masih aman, pompa dalam keadaan mati, dan belum terjadi hujan. Ketika hujan mulai turun, sistem berpindah ke S1 dan melanjutkan monitoring terhadap kondisi lingkungan. Selanjutnya, apabila debit air meningkat maka sistem bergerak menuju S2 dan S3 hingga akhirnya mengaktifkan pompa pada S4. Setelah kondisi air mulai menurun, sistem bergerak menuju S5 dan kembali ke kondisi aman pada S6 sebagai goal state.

Selain jalur utama, berdasarkan Gambar 2 sistem juga mempertimbangkan kondisi lain seperti saluran tersumbat (S7) dan luapan air (S8). Penambahan state tersebut digunakan untuk menguji kemampuan sistem dalam menangani kondisi darurat yang dapat menyebabkan banjir. Dengan adanya representasi state space, sistem dapat menentukan tindakan yang sesuai berdasarkan perubahan kondisi yang terjadi.

#### 3.2 Hasil Pengujian Generate and Test

Metode *Generate and Test* bekerja dengan membangkitkan seluruh kemungkinan jalur (*generate*), kemudian menguji satu per satu apakah jalur tersebut valid dan mampu mencapai *goal state* (*test*). Hasil pengujian terhadap seluruh kemungkinan jalur ditunjukkan pada Tabel 2.

| No | Jalur                                      | Valid | Total Cost |
|----|--------------------------------------------|-------|------------|
| 1  | S0 → S1 → S2 → S3 → S4 → S5 → S6           | Ya    | 6          |
| 2  | S0 → S1 → S2 → S3 → S7 → S8                | Tidak | 5          |
| 3  | S0 → S1 → S2 → S3 → S7 → S3 → S4 → S5 → S6 | Ya    | 8          |
| 4  | S0 → S1 → S2 → S3 → S4 → S3 → S4 → S5 → S6 | Ya    | 8          |
| 5  | S0 → S1 → S2 → S3 → S7                     | Tidak | 4          |

**Tabel 2** (Tabel 2 Menunjukkan Hasil Uji Generate And Test)

Berdasarkan Tabel 2, jalur utama yang dihasilkan dan dinyatakan paling optimal adalah:

S0 → S1 → S2 → S3 → S4 → S5 → S6

Jalur tersebut dinyatakan valid karena berhasil mencapai *goal state* dengan total biaya paling rendah yaitu 6 langkah. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengendalian debit air secara bertahap hingga kembali ke kondisi normal tanpa adanya pengulangan state.

Sementara itu, jalur nomor 2 (S0 → S1 → S2 → S3 → S7 → S8) dan jalur nomor 5 (S0 → S1 → S2 → S3 → S7) dinyatakan tidak valid karena tidak berhasil mencapai *goal state*. Jalur nomor 2 berakhir pada kondisi luapan air (S8/*overflow*), sedangkan jalur nomor 5 terhenti pada kondisi sumbatan tanpa penyelesaian. Kedua jalur ini menunjukkan bahwa sumbatan saluran yang tidak segera ditangani dapat menyebabkan kondisi darurat yang tidak terkendali.

Adapun jalur nomor 3 dan 4 meskipun dinyatakan valid karena akhirnya mencapai *goal state*, namun memiliki total biaya lebih besar yaitu 8 langkah. Hal ini disebabkan adanya pengulangan state dalam proses pencarian solusi, sehingga sistem membutuhkan lebih banyak langkah untuk mencapai kondisi aman.

#### 3.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, metode Generate and Test terbukti mampu membantu sistem dalam menentukan jalur terbaik menuju kondisi aman. Dari 5 jalur yang diuji, sistem berhasil mengidentifikasi 3 jalur valid dan 2 jalur tidak valid.

Jalur paling optimal yang dipilih adalah:

S0 → S1 → S2 → S3 → S4 → S5 → S6

dengan total biaya 6 langkah. Jalur ini dipilih karena memenuhi dua kriteria utama, yaitu berhasil mencapai goal state dan memiliki total biaya paling rendah dibandingkan jalur valid lainnya. Proses yang dilalui sistem pada jalur ini adalah sebagai berikut: sistem mendeteksi hujan (S1), memantau peningkatan

debit air (S2), memasuki kondisi siaga (S3), mengaktifkan pompa air (S4), memantau penurunan debit air (S5), hingga akhirnya kondisi drainase kembali normal dan sistem masuk ke kondisi standby (S6).

Jalur alternatif yang valid (jalur 3 dan 4) tidak dipilih karena mengandung pengulangan state, yaitu sistem kembali ke state yang sudah pernah dikunjungi sebelumnya. Pengulangan ini menambah biaya komputasi dan memperlambat respons sistem terhadap kondisi darurat, sehingga kurang efisien untuk diterapkan pada sistem drainase yang membutuhkan penanganan cepat.

Dengan demikian, penerapan metode *Generate and Test* pada sistem drainase pintar dinilai efektif untuk mendukung pengambilan keputusan otomatis. Sistem yang dirancang juga mampu mendeteksi kondisi berbahaya seperti sumbatan dan luapan air, sehingga dapat membantu menjaga keamanan lingkungan secara lebih responsif dan efisien.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem drainase pintar berbasis Artificial Intelligence menggunakan metode *Generate and Test* untuk menentukan jalur keputusan otomatis dalam pengendalian aliran air. Sistem yang dirancang memanfaatkan representasi state space dengan 9 state (S0–S8) untuk menggambarkan perubahan kondisi lingkungan dari initial state hingga goal state.

Berdasarkan hasil pengujian, metode *Generate and Test* mampu mengidentifikasi jalur paling optimal yaitu  $S0 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \rightarrow S3 \rightarrow S4 \rightarrow S5 \rightarrow S6$  dengan total biaya 6 langkah. Jalur tersebut dipilih karena berhasil mencapai goal state dengan biaya paling rendah dan tanpa pengulangan state dibandingkan jalur valid lainnya yang memiliki total biaya 8 langkah.

Sistem juga terbukti mampu mendeteksi kondisi darurat seperti sumbatan saluran (S7) dan luapan air (S8), sehingga dapat memberikan respons otomatis secara cepat dan tepat. Dengan demikian, penerapan metode *Generate and Test* pada sistem drainase pintar dinilai efektif dalam mendukung pengambilan keputusan otomatis untuk meminimalkan risiko banjir dan menjaga keamanan lingkungan.

#### REFERENSI

- [1] L.-C. Chang, M.-T. Yang, J.-Y. Liou, P.-Y. Kow, and F.-J. Chang, "Intelligent Urban Flood Management Using Real-Time Forecasting, Multi-Objective Optimization, and Adaptive Pump Operation," *Smart Cities*, vol. 8, no. 3, p. 91, May 2025, doi: 10.3390/smartcities8030091.
- [2] R. Dabas, T. Imam, F. Safwat, S. Rizwan, and K. Alam, "Smart Drainage System for Urban Flood Prevention," *Int. J. Civ. Environ. Agric. Eng.*, pp. 1–7, Apr. 2025, doi: 10.34256/ijceae2511.
- [3] M. Navia, J. Macías-Aguayo, and D. Quiroz-Cordova, "IoT-Based Detection of Blockages in Stormwater Drains," in *ECSA-11*, MDPI, Nov. 2024, p. 48. doi: 10.3390/ecsa-11-20371.