

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia dan berdampak signifikan pada infrastruktur, aktivitas ekonomi, serta kesejahteraan masyarakat. Berdasarkan laporan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), hingga September 2024 terdapat 750 kejadian banjir dari total 1.300 bencana yang tercatat di seluruh Indonesia, menjadikannya bencana paling dominan pada tahun 2024 [1]. Kejadian banjir yang berulang kali mengakibatkan kerusakan infrastruktur skala besar yang mencapai 146.000 rumah rusak, terputusnya sejumlah ruas jalan dan jembatan, serta sebanyak 3.100 fasilitas umum ikut terdampak termasuk sekolah dan puskesmas [2]. Terlebih lagi pada tahun 2020, kerugian ekonomi nasional yang diakibatkan bencana ini mencapai $\pm$ 31 triliun rupiah yang mencakup kerusakan rumah, penurunan produktivitas pertanian, dan gangguan signifikan terhadap kegiatan bisnis [3].

Salah satu daerah yang sering terdampak banjir adalah Kabupaten Bandung, khususnya Kecamatan Baleendah dan Dayeuhkolot. Secara geografis, kedua kecamatan ini berada di dataran rendah dengan ketinggian sekitar 600 mdpl. Baleendah memiliki topografi dataran rendah di utara dan timur, sedangkan bagian selatannya berbukit [4]. Wilayah ini juga terletak di selatan Cekungan Bandung, yang menjadi titik pengumpulan aliran air dari beberapa anak sungai, di antaranya Sungai Cikapundung, Sungai Citepus, dan Sungai Cisangkuy, sebelum bermuara ke Sungai Citarum [5]. Rata-rata curah hujan tahunan mencapai 1.500–2.000 mm, dengan curah hujan ekstrem pada periode tertentu, sehingga meningkatkan risiko banjir di wilayah ini [2]. Sebagai contoh, pada Desember 2020, banjir merendam 7.364 rumah di Baleendah dan Dayeuhkolot hingga ketinggian 120 cm, menyebabkan gangguan pada akses jalan, kegiatan ekonomi, pendidikan, serta kesehatan masyarakat [6].

Upaya penanggulangan banjir di Kabupaten Bandung telah dilakukan melalui pembangunan berbagai infrastruktur pengendali banjir. Salah satu bentuk infrastruktur tersebut adalah polder, yaitu suatu kawasan yang dibatasi oleh tanggul dan dilengkapi sistem drainase serta pompa untuk mengatur keluar-masuknya air. Polder umumnya dirancang agar dapat menahan, menampung, dan mengalirkan kelebihan air dari area sekitar ke saluran pembuangan atau sungai induk. Di Kabupaten Bandung, pemerintah membangun Polder Cipalasari-1 dan Polder Cipalasari-2 sebagai bagian dari inisiatif pengendalian banjir. Polder Cipalasari-1 memiliki area tangkapan seluas 22 hektar dengan volume tampungan air sekitar 1.250 meter

kubik, sedangkan Polder Cipalasari-2 memiliki karakteristik yang serupa [7]. Seperti terlihat pada Gambar 1, Polder Cipalasari-1 berfungsi menahan, menampung, dan mengalirkan kelebihan air dari kawasan sekitarnya.



Gambar 1.1 Polder Cipalasari

Walaupun demikian, beberapa kendala masih dijumpai dalam pengoperasian Polder Cipalasari. Berdasarkan pantauan lapangan, kapasitas polder sering kali tidak mencukupi ketika curah hujan ekstrem, sedangkan kerusakan pompa dan sedimentasi saluran masuk turut menghambat kinerja sistem. Dalam wawancara pada 13 September 2024, Petugas Polder Cipalasari-1, Nana Suntana (40), mengungkapkan bahwa pengoperasian pintu air dan pompa masih banyak dilakukan secara manual, sehingga waktu respons petugas cenderung lambat saat terjadi kenaikan debit air mendadak. Selain itu, minimnya integrasi data ketinggian air dan perkiraan cuaca mengakibatkan mitigasi banjir tidak dapat dilakukan secara maksimal.

Oleh karena itu, perlu diupayakan pengembangan sistem berbasis teknologi yang mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas infrastruktur Polder Cipalasari-1. Pemanfaatan metode pemantauan *real-time* dan analisis data secara cerdas diharapkan dapat menciptakan sistem mitigasi yang lebih akurat. Dengan demikian, kerugian sosial dan ekonomi akibat banjir di Kabupaten Bandung maupun wilayah lain yang mengalami permasalahan serupa diharapkan dapat diminimalkan.

1.2 Analisis Masalah

Permasalahan banjir di Polder Cipalasari-1 merupakan gambaran dari tantangan mitigasi banjir di Kabupaten Bandung. Untuk memahami permasalahan ini secara mendalam, analisis masalah dilakukan dalam beberapa aspek penting, yaitu aspek teknis, operasional, dan ekonomi.

1.2.1 Aspek Teknis

Sistem Polder Cipalasari-1 memiliki catchment area seluas 22 hektare dengan kapasitas tampung sekitar 1.250 m³ [7]. Dari hasil wawancara volume ini tergolong kecil dibanding potensi limpasan dari hujan intensitas tinggi di wilayah Baleendah dan Dayeuhkolot, sehingga kinerja pompa menjadi sangat krusial dalam menjaga kawasan agar tidak tergenang. Kementerian PUPR menekankan pentingnya pengawasan pompa yang bersifat terus-menerus, karena kegagalan operasional berisiko langsung menyebabkan genangan. Namun, hingga penelitian ini dilakukan, belum tersedia sistem pemantauan tinggi muka air secara daring di Polder Cipalasari-1.

1.2.2 Aspek Operasional

Secara operasional, sistem mitigasi banjir di Polder Cipalasari-1 masih bergantung penuh pada intervensi manual. Pemantauan tinggi muka air dilakukan secara konvensional, petugas mencatat hasil pengamatan di kertas secara berkala, lalu merekapnya manual. Metode ini rawan kesalahan dan menyebabkan keterlambatan informasi saat kondisi kritis. Selain itu, pengaturan pintu air dan pompa masih memerlukan kehadiran langsung operator, yang sering kali tidak dapat merespons cepat terhadap lonjakan debit air. Ketiadaan sistem otomatis memperburuk efisiensi operasional karena respons bergantung pada ketersediaan personel di lapangan setiap waktu.

1.2.3 Aspek Ekonomi dan Sosial

Dari sisi ekonomi, pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur mitigasi di Polder Cipalasari-1 memerlukan biaya tinggi, namun efektivitasnya belum optimal. Perawatan seperti pembersihan manual akibat sedimentasi menguras sumber daya dan meningkatkan ongkos operasional [8]. Selain itu, kegagalan sistem dalam mencegah banjir menimbulkan kerugian ekonomi bagi masyarakat, seperti terganggunya aktivitas pasar dan logistik akibat jalan yang tergenang. Efektivitas sistem yang rendah berujung pada beban tambahan, baik bagi warga maupun pemerintah. Penggunaan teknologi otomatisasi berpotensi menekan biaya operasional dan meminimalkan dampak ekonomi akibat banjir.

1.3 Analisis Solusi yang Ada

1.3.1 Sistem Kanal Banjir

Sistem kanal banjir, seperti Kanal Banjir Timur (KBT) di Jakarta, dirancang untuk mengalihkan aliran air dari sungai utama ke jalur alternatif guna mengurangi beban debit air di sungai utama [9]. Kanal ini memiliki pintu air manual yang dioperasikan langsung oleh tenaga manusia, yang sering kali membutuhkan waktu lama karena memerlukan observasi langsung

terhadap kondisi debit air. Meskipun sistem ini memiliki keterbatasan dalam hal respons cepat karena manualitasnya, kanal banjir tetap terbukti efektif dalam mengurangi risiko banjir secara signifikan di wilayah perkotaan yang sering terkena dampak limpasan air dari sungai utama. Dengan perawatan dan pengoperasian yang konsisten, sistem kanal banjir mampu memberikan solusi penting dalam mitigasi banjir, meskipun merepotkan dalam implementasinya.

1.3.2 Bendung dan Dam Manual

Bendung manual digunakan untuk mengontrol aliran sungai dengan menaikkan atau menurunkan pintu bendung secara manual sesuai kebutuhan [10]. Sistem ini telah diterapkan di berbagai sungai besar seperti Bengawan Solo, di mana tenaga manusia bertugas untuk memastikan aliran air tetap terkendali selama periode curah hujan tinggi. Meskipun pengoperasiannya memerlukan tenaga kerja sepanjang waktu dan tidak responsif terhadap perubahan debit air yang mendadak, sistem ini memiliki struktur yang sederhana dan biaya konstruksi yang relatif rendah. Dengan pengelolaan yang tepat, bendung manual dapat berfungsi efektif dalam mengontrol debit air dan mencegah banjir di wilayah sekitar.

1.3.3 Sistem Pengalihan Aliran Sederhana dan Kolam Retensi

Sistem pengalihan aliran sederhana merupakan metode tradisional yang menggunakan pintu air manual untuk mengarahkan aliran air ke jalur alternatif ketika debit air di sungai utama meningkat [11]. Sistem ini banyak diterapkan di wilayah pedesaan dan pertanian untuk melindungi permukiman dan lahan dari dampak banjir. Meski memerlukan intervensi manual yang cenderung lambat dan rentan terhadap kesalahan manusia, sistem ini tetap efektif untuk mengurangi risiko banjir di wilayah dengan sumber daya terbatas. Dalam praktiknya, pintu air harus dioperasikan oleh petugas setempat yang memantau kondisi debit air secara langsung. Kelemahan ini membuat sistem pengalihan memerlukan tenaga manusia yang sigap agar pengaturan aliran air tetap optimal selama musim hujan.

Namun, dalam beberapa implementasi sekarang pada wilayah padat penduduk, sistem pengalihan ini digantikan dengan kolam retensi sebagai area penampungan sementara. Kolam retensi berfungsi menahan limpasan air hujan secara temporer dan melepaskannya secara bertahap, sehingga mengurangi tekanan pada saluran utama dan meminimalkan risiko banjir [12]. Efektivitasnya cukup tinggi dalam menunda puncak aliran dan memberikan waktu tambahan untuk intervensi manual. Namun, seperti halnya pengalihan manual, keberhasilan sistem ini tetap bergantung pada kesiapsiagaan operator dan desain kapasitas kolam yang sesuai.

1.3.4 Sistem Polder

Sistem polder sering digunakan di daerah dataran rendah, dengan menggunakan kombinasi kolam retensi, tanggul, dan pompa untuk mengatur aliran air. Sistem ini memiliki keunggulan dalam mengelola banjir di daerah yang sangat rentan terhadap aliran air berlebih, seperti daerah dataran rendah di Kabupaten Bandung yang menggunakan Polder Cipalasari. Namun, sistem polder memiliki keterbatasan seperti, pengoperasian pintu air dan pompa yang masih manual, yang menyebabkan respons terhadap kenaikan debit air sering terlambat. Saat terjadi peningkatan debit air yang cepat, operator perlu melakukan pengamatan langsung dan mengatur pintu air secara manual, yang mengakibatkan keterlambatan dalam pengendalian aliran air. Selain itu, biaya operasional untuk menjaga pompa tetap berfungsi dan pembersihan sedimen secara manual juga sangat tinggi, seperti yang terlihat pada Polder Kali Semarang, di mana biaya operasionalnya mencapai lebih dari Rp3,1 miliar [8].

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem mitigasi banjir yang lebih responsif, efisien, dan efektif di wilayah rawan banjir, khususnya di kawasan Polder Cipalasari-1, Kabupaten Bandung. Fokus utama penelitian adalah mengintegrasikan sensor pemantauan tinggi muka air dengan sistem kendali otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terhubung ke aplikasi daring. Melalui pendekatan ini, penelitian ini dapat mengurangi ketergantungan petugas Polder Cipalasari-1 pada pengoperasian manual yang selama ini menjadi kendala dalam respons terhadap banjir. Selain itu, pemanfaatan data historis dan prediktif melalui algoritma *machine learning* (ML) diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat waktu dan berbasis data, sehingga fungsi infrastruktur polder dapat dioptimalkan secara dalam menghadapi banjir.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Batasan dalam tugas akhir ini ditetapkan untuk memperjelas ruang lingkup perancangan, pengujian, dan penerapan sistem yang dikembangkan. Tabel 1.1 berikut merangkum batasan utama dalam penelitian ini:

Tabel 1.1 Batasan Tugas Akhir

Batasan	Deskripsi Batasan
Sistem dikembangkan dalam bentuk prototipe Polder Cipalasari-1	Sistem dirancang dalam skala prototipe untuk mensimulasikan kondisi operasional Polder Cipalasari-1. Prototipe digunakan sebagai media pengujian fungsional sistem.
Pemantauan tinggi muka air dilakukan secara otomatis.	Sistem dilengkapi sensor ultrasonik untuk memantau ketinggian muka air secara otomatis. Pembacaan data dilakukan berkala dan ditampilkan melalui aplikasi website.
Aplikasi website berfungsi sebagai antarmuka pemantauan dan pengendalian	Website menampilkan data real-time dari sensor, visualisasi hasil prediksi model ML, serta menyediakan fitur kendali jarak jauh untuk pompa dan pintu air pada prototipe.
Pengambilan keputusan berbasis data historis dan prediktif	Keputusan sistem dilakukan secara otomatis menggunakan model machine learning yang dilatih dengan data historis dari sensor. Model ini menghasilkan rekomendasi operasional pompa dan pintu air berdasarkan kondisi muka air.