

Model Sistem Dinamis Ketersediaan Air PDAM Cilegon Mandiri***Dynamic System Model for Water Availability at PDAM Cilegon Mandiri*****Muhammad Rifki Saputro^{1*}, Firmansyah Muhammad Noor², Rifan Nur Maulana³, Sahrupi⁴**¹²³⁴Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya

Jl. Raya Cilegon No.Km. 5, Taman, Drangong, Kec. Taktakan, Kota Serang, Banten 42162, (0254) 8235007

*Korespondensi Penulis, E-mail: rifkiisaputraa@gmail.com

Diterima 15 Januari, 2024; Disetujui 2 Januari, 2024; Dipublikasikan 24 Maret, 2024

Abstrak

Perusahaan Daerah Air Minum Cilegon Mandiri adalah badan usaha milik daerah yang bertanggung jawab untuk menyediakan layanan air minum kepada masyarakat serta mengelola sumber daya air, memproduksi air bersih dan mendistribusikannya kepada masyarakat. Dalam menyediakan ketersediaan layanan air bersih PDAM Cilegon Mandiri kekurangan manajemen sumber daya air yang berkelanjutan, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model sistem dinamis terkait ketersediaan air bersih di Perusahaan Daerah Air Minum Cilegon Mandiri. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem dinamis berbasis kualitatif, sistem dinamis adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk membentuk struktur dan memprediksi perilaku serta umpan balik. Dalam pemodelan suatu sistem, sistem dinamis memerlukan alat untuk mengilustrasikan hubungan saling ketergantungan antar elemen sistem, yang diwujudkan dalam bentuk *Causal Loop Diagram* (CLD). Hasil penelitian ini terdapat 14 variabel yang berpengaruh signifikan terhadap ketersediaan air bersih PDAM Cilegon Mandiri, sebagai *feedback* terdapat satu *loop* penguatan (*reinforcing*) sebagai *feedback loop* positif yang menciptakan pola pertumbuhan dan dua *loop* penyeimbang (*balancing*) sebagai *feedback* positif yang berhubungan dengan peningkatan ketersediaan air PDAM Cilegon Mandiri. Meskipun pendekatan *Causal Loop Diagram* telah membantu mengidentifikasi aspek – aspek dalam sistem ketersediaan air bersih namun kami menyarankan agar dilanjutkan dengan model simulasi nyata agar dapat menjawab permasalahan nyata dalam sistem dinamis ketersediaan air PDAM Cilegon Mandiri.

Kata kunci: *Causal Loop Diagram, Pemodelan, Sistem Dinamis, Sumber Daya Air***Abstract**

Cilegon Mandiri Regional Water Company is a regional government-owned enterprise responsible for providing water supply services to the community, managing water resources, producing clean water, and distributing it to the public. In ensuring the availability of clean water services, PDAM Cilegon Mandiri faces challenges in sustainable water resource management. The objective of this research is to develop a dynamic system model related to the availability of clean water in the Cilegon Mandiri Regional Water Company. The method used in this research is a qualitative-based dynamic system, which is a method used to form the structure, predict behavior, and provide feedback in a system. In modeling a system, dynamic systems require tools to illustrate the interdependencies among system elements, manifested in the form of a Causal Loop Diagram (CLD). The research results identify 14 variables that significantly influence the availability of clean water in PDAM Cilegon Mandiri. There is one reinforcing feedback loop as positive feedback that creates a growth pattern, and two balancing loops as positive feedback related to the improvement of water availability in PDAM Cilegon Mandiri. Although the Causal Loop Diagram approach has helped identify aspects in the clean water availability system, it is recommended to continue with a real simulation model to address real issues in the dynamic system of water availability in PDAM Cilegon Mandiri.

Keywords: *Causal Loop Diagram, Dynamic System, Modelling, Water Resources***1. Pendahuluan**

Saat ini kebutuhan air bersih bagi negara-negara maju maupun berkembang terutama Indonesia sangat penting, Indonesia menghadapi masalah besar dalam menyediakan air bersih bagi warganya karena statusnya sebagai negara berkembang, kekurangan pasokan air bersih, pelayanan yang tidak merata, terutama di daerah pedesaan dan pemanfaatan yang tidak efektif dari sumber air bersih yang ada adalah masalah utama yang saat ini dihadapi Indonesia (Nofrizal & Saputra, 2021). Air merupakan sumber daya alam yang istimewa karena ketersediaan air bersih mempunyai peranan yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia fungsinya meliputi produksi pangan, pertumbuhan ekonomi, kesejahteraan dan kesehatan manusia (Primadian et al., 2016). Seiring dengan zaman tentunya diiringi pula dengan pertumbuhan populasi manusia yang dimana semakin besar pula kebutuhan airnya maka merencanakan penyediaan air bersih perlu dilakukannya suatu hal yang memenuhi konsep 3K yang dimana maksud dari 3K yaitu Kualitas, Kuantitas, dan Kontinuitas (Hanasah et al., 2021). Hampir 71% permukaan bumi ditutupi oleh air kekurangan air disebabkan oleh kurang baiknya pengelolaan sumber daya air, tanpa air manusia, hewan, dan tumbuhan dan penghuni kehidupan di bumi ini tidak akan bisa berlangsung maka dari itu air dikatakan sebagai sumber kehidupan bagi seluruh makhluk hidup yang ada di bumi ini. Air bersih sangat berperan dalam menunjang perkembangan kota yang dimana air bersih ini merupakan sebuah infrastruktur kota, dalam menunjang perkembangan kota tentunya membutuhkan sistem perancangan air bersih yang baik sehingga segala kebutuhan pertumbuhan penduduknya dapat terpenuhi (Komalia & Indrawan, 2013).

Proses pembangunan sangat bergantung pada ketersediaan air berdasarkan asal sumbernya oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah rasional untuk memastikan bahwa ketersediaan air tetap tersedia baik dari segi kuantitas maupun kualitas tanpa mengganggu keseimbangan ekosistem lingkungan selain itu, sistem penyediaan air yang berfungsi dengan baik harus mampu memenuhi kebutuhan air dengan cukup dan mendapat respons dan dukungan positif dari masyarakat (Yuliani & Rahdriawan, 2014). Salah satu aspek esensial dalam kehidupan manusia adalah kebutuhan akan layanan air bersih yang tersedia, air bersih memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia karena memiliki fungsi yang sangat vital, sebagai kebutuhan yang kritis bagi manusia ketersediaan air bersih harus tetap terjaga agar dapat menjaga kelangsungan hidup (Primandani et al., 2022). Kebutuhan akan air bersih cenderung meningkat setiap tahun sementara ketersediaan air bersih semakin terbatas karena pengecilan daerah tangkapan air dan pembangunan yang tidak memperhatikan keseimbangan alam dan eksploitasi sumber air baku tanpa memperhatikan keberlanjutan sumber daya air turut memperburuk kondisi ini, untuk mencegah krisis air sangat penting untuk menjaga dan melestarikan sumber daya air yang ada meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mencari sumber alternatif baru. (Suheri et al., 2019). Peningkatan jumlah penduduk dan kemajuan pembangunan di segala sektor menyebabkan peningkatan kebutuhan udara, namun tantangan utama yang muncul dalam pengelolaan sumber daya udara harus ditangani secara tepat agar dapat mencapai hasil yang optimal. (Azmeri et al., 2010).

Ada tiga persamaan yang dapat diidentifikasi terkait dengan sumber daya air: (1) Air semakin langka sementara kebutuhan terus meningkat, (2) Peningkatan jumlah penduduk tidak diimbangi dengan peningkatan kualitas hidup, dan ketersediaan air merupakan salah satu kuncinya. faktor-faktor tersebut, dan (3) Meningkatnya konversi lahan cenderung mengurangi luas wilayah penampungan udara (Susilastuti et al., 2009). Kebutuhan air khususnya di perkotaan, melimpahnya pasokan dan ketersediaan udara menyebabkan tingkat hasil yang diperoleh semakin menurun.

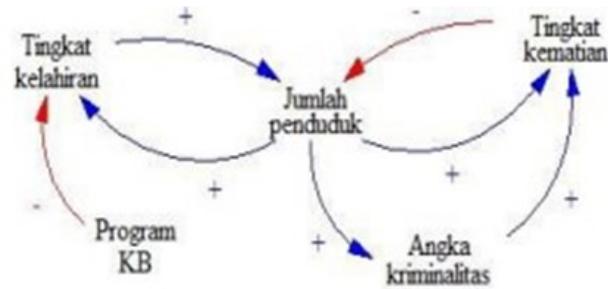
Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan perusahaan yang dikelola oleh pemerintah daerah yang berfungsi sebagai badan pelayanan masyarakat, sebagai organisasi sektor publik mengutamakan pemenuhan kepuasan masyarakat melalui pelayanan masyarakat berkualitas dengan harga terjangkau (Suhaila et al., 2022). Keberadaan PDAM mencakup seluruh provinsi, kabupaten dan kota di Indonesia, salah satunya di kota Cilegon. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Cilegon Mandiri adalah entitas bisnis yang dimiliki oleh pemerintah daerah dan beroperasi di kota Cilegon. Fokus utama perusahaan ini adalah menyediakan layanan air minum kepada masyarakat di wilayahnya. PDAM Cilegon Mandiri bertanggung jawab atas manajemen infrastruktur air, pemeliharaan sistem, dan

memastikan kualitas air yang memenuhi standar keselamatan konsumsi. Sebagai perusahaan daerah, PDAM Cilegon Mandiri berperan penting dalam memastikan distribusi air bersih yang aman dan efisien kepada penduduk setempat. Sistem pengelolaan air yang efisien diperlukan untuk menyediakan pasokan air bersih kepada pengguna, sehingga dapat menunjang kehidupan dan aktivitas masyarakat.

Memenuhi kebutuhan air masyarakat adalah tujuan utama dari sistem penyediaan air bersih, yang melibatkan berbagai proses mulai dari pengolahan air baku hingga memenuhi standar air bersih. Selanjutnya air bersih didistribusikan kepada penduduk di wilayah tertentu, pentingnya sistem penyediaan air bersih ini terletak pada perhatian yang diberikan pada hal-hal seperti kuantitas, kualitas, dan kelangsungan (Shofa & Widyarto, 2018).

Saat ini belum terdapat manajemen sumber daya air yang bersifat berkelanjutan konsep berkelanjutan dikenal melalui laporan Brundtland dari Komisi Lingkungan dan Pembangunan Dunia, yang menyatakan bahwa pembangunan yang berkelanjutan mencakup pemenuhan kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka (Shofa & Widyarto, 2018). Penelitian ini akan fokus pada pengembangan model yang mendukung pemanfaatan sumber daya air secara berkelanjutan oleh perusahaan penyedia air. Tujuan utamanya adalah untuk memperkuat manajemen ketahanan air. Pendekatan yang diterapkan melibatkan penggunaan sistem dinamis. Evaluasi perilaku model akan dilakukan terhadap sistem, dan hasil analisis akan digunakan untuk menyusun rencana perbaikan. Pemodelan sistem dimulai dengan usaha memahami realitas yang ada, tanpa ada model yang dianggap benar atau salah. Penilaian model didasarkan pada sejauh mana kegunaannya. Oleh karena itu, langkah awal dalam pemodelan adalah menetapkan tujuan pemodelan, dengan keakuratan dan ketepatan hasil prediksi menjadi kunci dalam menggunakan model sebagai alat prediksi. Selain itu, model juga dapat digunakan sebagai sarana pembelajaran bagi mereka yang ingin memahami struktur dan perilaku sumber daya alam. Setelah model diselesaikan, simulasi dapat dilakukan untuk menilai dampak suatu komponen terhadap keluaran atau indikator perilaku yang telah dirancang (Dewi & Maharani, 2018).

Metode untuk menangani masalah kompleks dengan pendekatan sistem melibatkan penggunaan model sistem dinamis, sistem dinamis adalah cara untuk menggambarkan dan memahami perilaku sistem yang kompleks dari waktu ke waktu, pendekatan ini melibatkan pembuatan diagram sebab-akibat, pembuatan model matematika, dan penggunaan simulasi untuk menganalisis serta meramalkan perilaku sistem, dengan menggunakan sistem dinamis, dapat dihasilkan pola pemikiran yang holistik dan terintegrasi, yang mampu mengubah permasalahan kompleks tanpa mengabaikan aspek-aspek penting yang memerlukan perhatian (Zulfikar et al., 2023). Model *Causal Loop Diagram* (CLD) merupakan alat model yang umumnya digunakan dalam penyelesaian masalah dengan pendekatan sistem terutama untuk memahami kompleksitas dinamis suatu sistem atau mendukung pendekatan sistem dinamik, model CLD menyoroti hubungan sebab-akibat antar komponen sistem melalui suatu diagram yang terdiri dari garis lengkung dengan ujung panah yang menghubungkan satu komponen sistem dengan komponen lainnya. Ujung panah ditandai dengan huruf "S," menunjukkan bahwa jika komponen yang mempengaruhi atau menjadi penyebab mengalami perubahan atau peningkatan, maka komponen yang terpengaruh akan mengalami perubahan atau peningkatan serupa. Sebaliknya, tanda huruf "O" menunjukkan hasil yang berlawanan, artinya jika komponen yang mempengaruhi mengalami peningkatan, komponen yang terpengaruh akan mengalami penurunan. (Mawengkang et al., 2020). Sistem dinamis adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk membentuk struktur dan memprediksi perilaku serta umpan balik sistem dalam bentuk yang terintegrasi, metode ini telah digunakan oleh para peneliti sebelumnya dalam memodelkan pengelolaan air dari aspek kualitas dan kuantitas (Angellina et al., 2021). Sistem dinamis membutuhkan alat antarmuka untuk menggambarkan hubungan saling ketergantungan antar elemen sistem, yang direpresentasikan dalam bentuk *Diagram Loop Causal* (*Causal Loop Diagram*/CLD). CLD adalah grafik yang mencerminkan struktur suatu sistem dan mengilustrasikan keterkaitan dinamis antar variabel. Setiap hubungan sebab-akibat memiliki polaritas, baik positif (+) maupun negatif (-) sebagai cara visualisasi perubahan variabel bebas terhadap perubahan variabel terikat. Terbentuknya loop pada diagram menandakan adanya umpan balik antar variabel, yang dapat berupa umpan balik positif yang memperkuat (*reinforcing*) atau umpan balik negatif yang menyeimbangkan (*balancing*) (Stermen, 2014). Sebagaimana dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Causal Loop Diagram

Berasal dari karya Sherwood pada tahun 2002, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam membuat diagram *causal loop*, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Mengetahui batasan masalah
- 2) Mulailah dengan sesuatu yang menarik.
- 3) Pahami faktor pemicu dan akibatnya.
- 4) menggunakan kata benda sebagai ganti kata kerja
- 5) hindari penggunaan kata meningkat dan menurun
- 6) Jangan ragu untuk memasukkan kata-kata yang tidak umum
- 7) Terapkan simbol "S" dan "O" dalam setiap relasi keterkaitan.
- 8) Diagram yang baik adalah diagram yang menggambarkan kebenaran
- 9) Senangilah diagram yang dibuat
- 10) Tidak ada diagram yang sepenuhnya selesai.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model sistem dinamis terkait ketersediaan air bersih di Perusahaan Air Minum Darah Cilegon. Pendekatan yang digunakan dalam menganalisis model ketersediaan ini adalah metode dinamik sistem *Causal Loop Dynamic*. Penggunaan sistem dinamis diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai titik-titik lemah dalam penyediaan air bersih yang telah dilaksanakan sebelumnya sehingga dapat ditingkatkan secara efektif dan melalui model yang dikembangkan dengan metode sistem dinamik dapat diketahui variabel apa saja yang mempunyai pengaruh terhadap ketersediaan air bersih.

2. Metode Penelitian

Metode sistem dinamis merupakan pendekatan pemodelan sistem yang mampu merancang model sistem kompleks, ciri utama dari sistem dalam metode ini adalah perubahan perilaku sistem dari waktu ke waktu (dinamis) dan adanya hubungan umpan balik antara entitas di dalamnya, tujuan utama dari pemodelan sistem adalah untuk meramalkan dan menentukan kebijakan berdasarkan model sistem. (Karima et al., 2022). Penelitian ini menggunakan metode sistem dinamis berbasis kualitatif dan alat yang digunakan untuk menjelaskan informasi adalah *Causal Loop Diagram* (Kristianto & Nadapdap, 2021). *Causal Loop Diagram* (CLD) menjelaskan interaksi antar variabel dalam suatu sistem, CLD berguna untuk memperjelas sebab akibat dari setiap elemen dalam merancang model sistem dinamis terkait ketersediaan air bersih di Perusahaan Air Minum Cilegon Mandiri. (Vikaliana & Raza, 2022). Penelitian ini diawali dengan melakukan studi pendahuluan yaitu langkah awal yang dilakukan penulis untuk mengumpulkan informasi mengenai kondisi ketersediaan air di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Cilegon, berdasarkan hasil penelitian akan diperoleh informasi mengenai model konseptual yang akan digunakan dalam menjaga ketersediaan air sehingga penulis dapat mengetahui dan memilih tahapan-tahapan yang akan ditempuh dan dilakukan dalam penelitian ini, Setelah menemukan permasalahan yang ada, selanjutnya dapat dilakukan studi literatur mengenai teori pendukung yang relevan dengan permasalahan tersebut. Studi literatur mengenai model konseptual, pengelolaan air, dan sistem dinamis untuk memahami secara teoritis tahapan yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada, teori referensi tersebut penulis peroleh dari jurnal teknologi terkait pengelolaan air serta buku referensi (Ervina & Purnomo, 2023).

Penelitian ini data dikumpulkan menggunakan dua teknik yang berbeda, yaitu pengumpulan data primer dan sekunder (Amalia & Sugiri, 2014). Data primer dalam penelitian ini diperoleh melalui pengamatan langsung dan wawancara dengan pihak terkait. Model konseptual melibatkan serangkaian langkah, termasuk:

a) Identifikasi masalah

Hal ini dilakukan untuk mengetahui secara detail permasalahan yang terjadi pada saat proses pembuatan pembahasan masalah dan tujuan penelitian.

b) Hipotesis dinamis

Hipotesis ini menjelaskan karakteristik masalah melalui struktur umpan balik, dan diagram alir mengilustrasikan bagaimana masalah dapat timbul, menyoroti fokus yang lebih luas pada struktur. Tentu saja alat yang digunakan dalam hal ini adalah *Causal Loop Diagram* (CLD).

Adapun tahapan proses penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Sumber: Pengolahan Data, 2023

Berdasarkan diagram alir penelitian yang ditunjukkan di atas, berikut tahap - tahap dapat dijelaskan:

Tahap pertama meliputi studi pendahuluan, yaitu dilakukan observasi langsung terhadap objek penelitian untuk mengumpulkan data yang diperlukan. Selain itu, tahap ini juga mencakup pemeriksaan literatur yang relevan dengan teori penelitian.

Tahap kedua adalah identifikasi variabel. Melalui proses pendefinisian, dapat diketahui variabel-variabel atau unsur-unsur yang saling berinteraksi dan mempengaruhi dalam konteks ketersediaan, serta memahami batasan-batasan sistem ketersediaan. Variabel diidentifikasi berdasarkan karakteristik dan perilaku yang mempengaruhi proses ketersediaan. Setelah variabel-variabel tersebut diperoleh, langkah selanjutnya adalah pemodelan dan simulasi.

Tahap ketiga melibatkan proses konseptualisasi model. Dalam rangka mempermudah pemahaman mengenai keterkaitan antar variabel atau elemen yang telah diidentifikasi melalui definisi ketersediaan sistem, maka dibuatlah model sebab-akibat dalam bentuk *Diagram Loop Causal (Causal Loop Diagram/CLD)*. CLD yang dirancang akan mencerminkan hubungan sebab-akibat dari variabel-variabel yang telah diidentifikasi.

Tahap Keempat analisis dan pembahasan ini mencakup hubungan sebab akibat antar variabel, identifikasi siklus umpan balik, dan pertimbangan dampak perubahan variabel terhadap sistem secara keseluruhan.

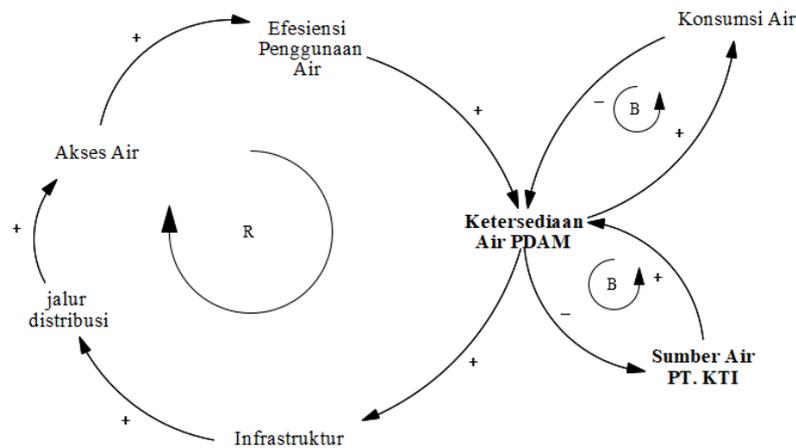
Tahap akhir yaitu meliputi pengambilan kesimpulan dan rekomendasi berdasarkan seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan tahap ini *Causal Loop Diagram (CLD)* digunakan untuk mengilustrasikan hubungan sebab-akibat. Pembuatan CLD didasarkan pada analisis kebutuhan yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Setelah mengamati hasil observasi, dapat disimpulkan bahwa ada 14 variabel yang memiliki pengaruh signifikan terhadap ketersediaan air di PDAM Cilegon Mandiri. Variabel-variabel tersebut kemudian diubah menjadi variabel yang memiliki nilai bebas namun mengikuti suatu pola perilaku tertentu, di mana perubahan pada satu variabel akan memengaruhi variabel lain sesuai dengan pola perilaku tersebut. Identifikasi dilakukan terhadap variabel-variabel berikut.:

- 1) Perumahan
- 2) Industri
- 3) Berhenti berlangganan
- 4) Jumlah permintaan pelanggan
- 5) Konsumsi air
- 6) Ketersediaan air
- 7) Infrastruktur
- 8) Jalur distribusi
- 9) Akses air
- 10) Pipa bocor
- 11) Efisiensi penggunaan air
- 12) Sumber air pt. kti
- 13) Curah hujan
- 14) Cidanau, cipasauran dan waduk krenceng

Berdasarkan variabel-variabel yang telah disebutkan, dapat dilihat bahwa terdapat satu loop penguatan (*reinforcing loop*) dan dua loop penyeimbang (*balancing loop*). Pola-pola ini dapat divisualisasikan melalui gambar 3 berikut:

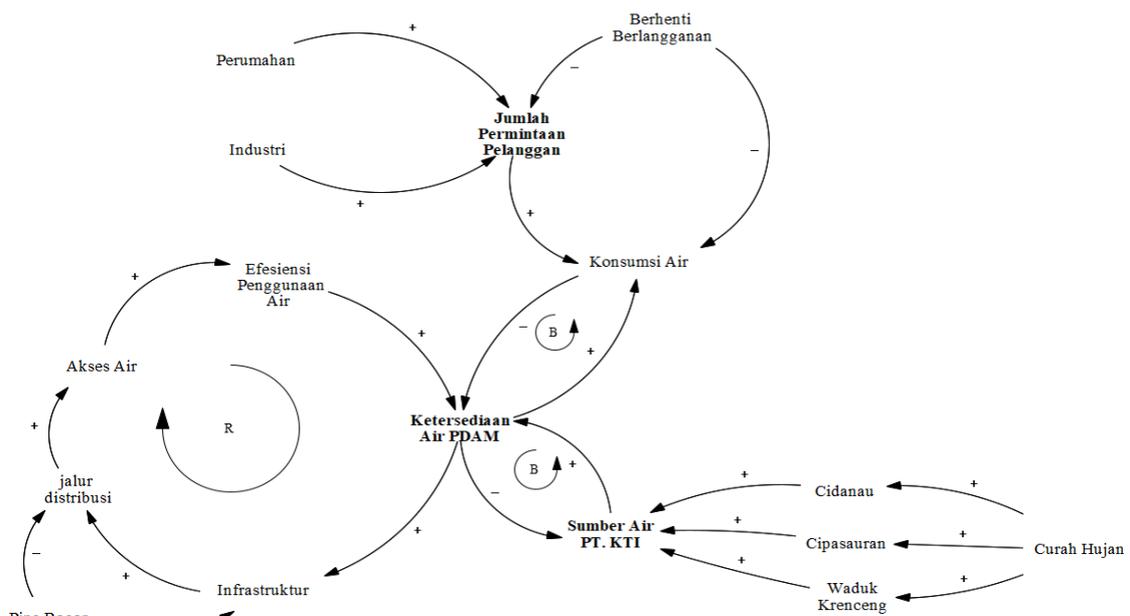


Gambar 3. Reinforcing dan Balancing Causal Diagram Loop
 Sumber: Pengolahan Data, 2023

Keterangan Gambar

Semakin tinggi infrastruktur, maka semakin tinggi jalur distribusi, semakin tinggi jalur distribusi maka akan semakin bertambah akses air, semakin bertambahnya akses air maka semakin bertambah efisiensi penggunaan air, semakin tinggi efisiensi penggunaan air maka semakin tinggi ketersediaan air di PDAM dimana hal ini menjadi variabel penguat (*reinforcing*) yaitu variabel yang mendorong kebutuhan. Semakin tinggi konsumsi air maka akan semakin berkurangnya ketersediaan air PDAM sebaliknya semakin tinggi ketersediaan air PDAM maka semakin banyak air yang dapat dikonsumsi, Semakin tinggi sumber air PT. KTI, maka semakin tinggi juga ketersediaan air PDAM. Begitu pula sebaliknya, semakin tinggi ketersediaan air PDAM, maka semakin berkurangnya sumber air PT. KTI. Keadaan ini menjadi variabel penyeimbang (*balancing*) yaitu variabel yang membatasi proses pertumbuhan tersebut. Kondisi ini akan menimbulkan grafik perilaku.

Berdasarkan pada pola dasar di atas, serta variabel-variabel yang telah dipilih dan memperhatikan 12 aturan yang ditegaskan oleh SherWood yang harus diikuti, maka dapat melihat *Causal Loop Diagram* (CLD) yang dihasilkan pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Causal Loop Diagram Ketersediaan Air PDAM Cilegon Mandiri
 Sumber: Pengolahan Data, 2023

Keterangan Gambar

Hasil CLD menunjukkan sebagai berikut:

- 1) Satu loop penguatan (*Reinforcing*) berhasil diidentifikasi sebagai *feedback loop* positif yang menciptakan pola pertumbuhan. Dua loop penyeimbang (*Balancing*) juga teridentifikasi sebagai *feedback loop* positif yang berhubungan dengan peningkatan ketersediaan air PDAM.
- 2) Variabel perumahan : semakin tinggi perumahan yang membutuhkan penggunaan air dalam kesehariannya, maka semakin bertambahnya jumlah permintaan pelanggan terhadap air.
- 3) Variabel Industri : semakin bertambahnya industri yang membutuhkan penggunaan air, maka semakin tinggi jumlah permintaan pelanggan terhadap air.
- 4) Variabel berhenti berlangganan : semakin banyaknya pelanggan yang berhenti berlangganan, maka semakin berkurangnya permintaan pelanggan terhadap air dan konsumsi air.
- 5) Variabel Jumlah Permintaan Pelanggan : Semakin tinggi jumlah permintaan pelanggan terhadap air, maka semakin tinggi juga air yang dikonsumsi.
- 6) Variabel Konsumsi Air : semakin tinggi konsumsi air, maka akan berkurangnya ketersediaan air PDAM. Sebaliknya semakin tinggi ketersediaan air PDAM maka semakin banyak air yang dapat dikonsumsi.
- 7) Variabel Ketersediaan Air : semakin tinggi ketersediaan air, maka semakin meningkatnya kebutuhan infrastruktur.
- 8) Variabel Infrastruktur : Semakin tinggi infrastruktur, maka semakin meningkatnya jalur distribusi.
- 9) Variabel Jalur Distribusi : Semakin tinggi jalur distribusi, maka akan bertambahnya akses air.
- 10) Variabel Akses Air : Semakin bertambahnya akses air, maka bertambah pula efisiensi penggunaan air.
- 11) Variabel Pipa Bocor : Semakin tinggi pipa yang bocor, maka semakin berkurangnya jalur distribusi air dan semakin banyaknya pipa bocor, maka semakin tinggi juga perbaikan infrastruktur untuk menanggulangi pipa bocor.
- 12) Variabel Efisiensi Penggunaan Air : Semakin tinggi efisiensi penggunaan air, maka semakin tinggi juga ketersediaan air di PDAM.
- 13) Variabel Sumber Air PT. KTI : Semakin tinggi sumber air PT. KTI, maka semakin tinggi juga ketersediaan air PDAM. Begitu pula sebaliknya, semakin tinggi ketersediaan air PDAM, maka semakin berkurangnya sumber air PT. KTI.
- 14) Variabel Curah Hujan : Semakin tinggi curah hujan, maka semakin tinggi juga volume air di Cidanau, Cipasauran, dan Waduk Krenceng.
- 15) Variabel Cidanau, Cipasauran, dan Waduk Krenceng : Semakin tinggi volume air, maka semakin tinggi juga sumber air di PT. KTI.

Hasil identifikasi melalui *Causal Loop Diagram* (CLD) secara jelas menggambarkan seluruh variabel yang terlibat dalam sistem dinamis ketersediaan air bersih di Perusahaan Air Minum Daerah Cilegon. Dengan CLD juga dapat diketahui langkah-langkah yang perlu diambil dan titik awal untuk memulai penyediaan air bersih. Meskipun pendekatan menggunakan model CLD telah membantu mengenali aspek-aspek dalam sistem ketersediaan air bersih, tetapi perlu dilanjutkan dengan model simulasi. Contohnya model simulasi sistem dinamis dapat memberikan skenario keputusan untuk mengatasi permasalahan nyata, termasuk masalah dalam sistem dinamis ketersediaan air bersih di Perusahaan Daerah Air Minum Cilegon.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan terdapat 14 variabel yang berpengaruh signifikan terhadap ketersediaan air di PDAM Cilegon Mandiri, Variabel tersebut antara lain;

Perumahan, Industri, Berhenti berlangganan, Jumlah permintaan pelanggan, Konsumsi air, Ketersediaan air, Infrastruktur, Jalur, distribusi, Akses air, Pipa bocor, Efisiensi penggunaan air, Sumber air PT. KTI, Curah hujan, Cidanau, Cipsauran, dan Waduk krenceng. Berdasarkan Gambar 3. *Causal Loop Diagram* Ketersediaan Air PDAM Cilegon Mandiri dijelaskan bahwa terdapat satu loop penguatan (*Reinforcing*) berhasil diidentifikasi sebagai *feedback loop* positif yang mencitakan pola pertumbuhan. Dua loop penyeimbang (*Balancing*) juga teridentifikasi sebagai *feedback loop* positif yang berhubungan dengan peningkatan ketersediaan air PDAM. Pendekatan *Causal Loop Diagram* (CLD) telah membantu mengenali aspek-aspek dalam sistem ketersediaan air bersih, tetapi penelitian ini direkomendasikan perlu dilakukannya tindak lanjut berupa investigasi dengan melakukan simulasi sistem dinamis yang dapat memberikan skenario keputusan yang mengatasi permasalahan nyata dalam sistem dinamis ketersediaan air bersih di PDAM Cilegon Mandiri.

Referensi

- Amalia, B. I., & Sugiri, A. (2014). KETERSEDIAAN AIR BERSIH DAN PERUBAHAN IKLIM: STUDI KRISIS AIR DI KEDUNGKARANG KABUPATEN DEMAK. *Jurnal Teknik PWK*, 3(2), 295–302. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/pwk>
- Angellina, R., Aulia, D., & Farahdiba, U. (2021). ANALISIS KEBUTUHAN AIR BERSIH BERDASARKAN JUMLAH PENDUDUK DI DESA GEDANGKULUT KAB. GRESIK MELALUI PENDEKATAN SISTEM DINAMIS. *TEKNIK LINGKUNGAN*, 2(1).
- Azmeri, A., Legowo, S., & Kridasantausa, I. (2010). Analisis Ketersediaan Air dan Sistem Operasi dengan Metode Dinamik Deterministik (Studi Kasus Waduk Sukawana – Sungai Cimahi). *Jurnal Teknik Sipil*, 11(3), 135. <https://doi.org/10.5614/jts.2004.11.3.4>
- Dewi, M., & Maharani, D. (2018). MODEL DINAMIS PENGELOLAAN USAHA RUMAH POTONG HEWAN-RUMINANSIA. In *Jurnal Industri Kreatif dan Kewirausahaan* (Vol. 1, Issue 1).
- Ervina, D. F., & Purnomo, Y. S. (2023). Pengembangan Model Prediksi Kebutuhan Air Bersih terhadap Keseimbangan antara Pemasok Air Bersih dengan Kebutuhan Air Bersih Menggunakan Sistem Dinamis pada PT. X Pengolahan Hasil Laut Di Jawa Timur. *Environmental Science and Engineering Conference*, 4(1), 419–424. <http://esec.upnvjt.com/>
- Hanasah, N., Fathurrahman, & Surya, A. (2021). ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN AIR BERSIH DI WILAYAH KECAMATAN PULAU LAUT UTARA KABUPATEN KOTABARU.
- Karima, H. Q., Saputra, M. A., & Romadlon, F. (2022). Analisis Kapasitas Produksi dan Pemenuhan Permintaan dengan Model Sistem Dinamis pada Industri Semen. *JURNAL PENDIDIKAN DAN SOFTWARE INDUSTRI*, 9(Februari), 11–18. <http://ejournal.unis.ac.id/index.php/UNISTEK>
- Komalia, K., & Indrawan, I. (2013). ANALISIS PEMAKAIAN AIR BERSIH (PDAM) UNTUK KOTA PEMATANG SIANTAR.
- Kristianto, A. H., & Nadapdap, J. P. (2021). DINAMIKA SISTEM EKONOMI SIRKULAR BERBASIS MASYARAKAT METODE CAUSAL LOOP DIAGRAM KOTA BENGKAYANG. *Sebatik*, 25(1), 59–67. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v25i1.1279>
- Mawengkang, H., Sutarman, & Husain. (2020). Analisis Keputusan Menggunakan Pendekatan Model Causal Loop Diagram (CLD) Model Dinamik untuk Perencanaan Wisata Syariah Berkelanjutan. In *Jurnal Mantik* (Vol. 4, Issue 3). <https://iocscience.org/ejournal/index.php/mantik>
- Nofrizal, N., & Saputra, R. A. (2021). ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN AIR BERSIH DI WILAYAH KECAMATAN TIGO NAGARI KABUPATEN PASAMAN. *Rang Teknik Journal*, 4(2), 276–281. <https://doi.org/10.31869/rtj.v4i2.2480>
- Primadian, D., Lantara, D., Malik, R., & Nur, T. (2016). PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK TERHADAP KETERSEDIAAN AIR BERSIH DI KABUPATEN KUTAI TIMUR PROVINSI KALIMANTAN TIMUR. *JTEM*, 1(2).
- Primandani, V. C., Purnowo, N. A. S., & Barkah, A. (2022). ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN AIR BERSIH DI WILAYAH PELAYANAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR GUNUNG TUGEL PDAM TIRTA Satria Banyumas. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 11(1), 112–121. <https://doi.org/10.22225/pd.11.1.4469.112-121>

- Shofa, M. J., & Widyarto, W. O. (2018). MODEL SUMBER DAYA AIR UNTUK KAWASAN INDUSTRI DAN PERUMAHAN DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIS. *Jurnal REKAVASI*, 6(2), 117–123.
- Sterman, J. (2014). *Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World*. <https://www.researchgate.net/publication/44827001>
- Suhaila, I., Kadir, A., & Matondang, A. (2022). Analisis Kualitas Pelayanan Air Minum pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtanadi Cabang Tuasan Analysis of the Quality of Drinking Water Service in Regional Company of Drinking Water (PDAM) Tirtanadi Cabang Tuasan. *Jurnal Ilmiah Administrasi Publik Dan Pemerintahan*, 1(2), 71–80. <https://doi.org/10.31289/jiaap.v1i2.604>
- Suheri, A., Kusmana, C., Yanuar, M., Purwanto, J., & Setiawan, Y. (2019). Model Prediksi Kebutuhan Air Bersih Berdasarkan Jumlah Penduduk di Kawasan Perkotaan Sentul City (A Model for Predicting Clean Water Need Base on Inhabitant Number in The Urban Area Sentul City). *JURNAL TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN*, 04(03).
- Susilastuti, D., Putrawan, I. M., & Wijaya, C. H. (2009). *MODEL HUBUNGAN PENDUDUK DAN KONVERSI LAHAN DENGAN KETERSEDIAAN AIR BERSIH UNTUK PERENCANAAN PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR MELALUI SYSTEM DYNAMICS DI KABUPATEN BEKASI*.
- Vikaliana, R., & Raza, E. (2022). Logistik Perkotaan Pintar di Provinsi DKI Jakarta: Sebuah Pendekatan Causal Loop Diagram. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 6(1), 1.
- Yuliani, Y., & Rahdriawan, M. (2014). Kinerja Pelayanan Air Bersih Berbasis Masyarakat di Tugurejo Kota Semarang. *JURNAL PEMBANGUNAN WILAYAH & KOTA*, 10(3).
- Zulfikar, T. E., Supriyadi, Rosihin, & Nalhadi, A. (2023). Pemodelan Sistem Persediaan Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamik. *Jurnal Ilmiah Teknologi Harapan*, 11(2). <https://doi.org/10.35447/jitek.v11i2.783>