



KONSEP PENDEKATAN METODE DINAMIKA SISTEM DALAM MENENTUKAN PENGARUH VARIABEL IKLIM TERHADAP KETERSEDIAAN AIR DI KOTA BANDUNG

Evi Afiatun^{*)}, Yonik Meilawati Yustiani, Astri Widiastuti Hasbiah, Refiandy Noverando

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pasundan, Indonesia

Abstrak: Perubahan iklim dapat mempengaruhi musim hujan dan kering di berbagai wilayah, salah satunya berpengaruh pada perubahan debit di Sungai Cikapundung sebagai salah satu sumber air baku di Kota Bandung. Berdasarkan kondisi tersebut, maka pemodelan ketersediaan air baku perlu dilakukan. Pemodelan ketersediaan air baku sangat bergantung pada beberapa fenomena, salah satu diantaranya adalah pengaruh iklim. Pemodelan dinamika sistem merupakan pemodelan struktur independensi dengan fokus aspek endogen dari sebuah sistem untuk mendapatkan perilaku dinamis. Tujuan kajian ini adalah menyusun konsep model ketersediaan air menggunakan metode dinamika sistem agar dapat dilakukan prakiraan ketersediaan air di Kota Bandung, serta mengidentifikasi faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhi model. Konsep pemodelan dinamika sistem dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi dan perumusan masalah, konseptualisasi sistem, formulasi model, simulasi model, serta verifikasi dan validasi model. Konsep yang telah dituangkan dalam *Causal Loop Diagram (CLD)* dikembangkan menjadi model *Stock Flow Diagram (SFD)* untuk memprediksikan debit air sungai yang disimulasikan menggunakan *Powersim Studio 10*. Validasi model dilakukan melalui perhitungan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*. Faktor yang teridentifikasi dapat berpengaruh sebagai *variable input* yaitu parameter iklim yang meliputi kelembaban, kecepatan angin, suhu, curah hujan, dan hari hujan.

Kata kunci: dinamika sistem, ketersediaan air baku, pemodelan, perubahan iklim

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan air baku memegang peranan penting bagi kelangsungan pemenuhan kebutuhan air minum. Air baku tidak tersedia setiap saat, salah satu faktor penyebabnya adalah faktor iklim.

Kota Bandung merupakan salah satu kota terpadat di Indonesia. Permasalahan sistem penyediaan air minum yang utama termasuk

di Kota Bandung adalah terbatasnya ketersediaan air baku dan tingginya tingkat kehilangan air (Andani, 2012), sedangkan konsumsi air minum cukup besar sehingga menimbulkan kesenjangan pemenuhan kebutuhan air minum yang cukup besar (Afiatun dkk, 2018).

Sungai Cikapundung merupakan anak sungai dari Sungai Citarum yang mempunyai panjang total ± 28 km. Sungai Cikapundung merupakan salah satu sumber air baku di Kota Bandung (Yustiani dkk, 2018). Sungai Cikapundung memiliki peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan air minum bagi

^{*)} evi_afiatur@unpas.ac.id

masyarakat. Beberapa Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) mengambil air baku dari Sungai Cikapundung (Yustiani & Lidya., 2016). Selain itu, air Sungai Cikapundung juga digunakan sebagai pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan juga sarana irigasi (Halimatusadiah, 2012).

Perubahan iklim diduga dapat mempengaruhi musim hujan dan kering di berbagai wilayah, salah satunya berpengaruh pada perubahan debit di Sungai Cikapundung Kota Bandung. Pada musim penghujan, debit air Sungai Cikapundung cenderung meningkat, sementara pada musim kemarau, debit air cenderung menurun. Kondisi ini mempengaruhi ketersediaan air baku bagi masyarakat di Kota Bandung (Putra dkk, 2019).

Berdasarkan kondisi tersebut, maka pemodelan ketersediaan air baku perlu dilakukan. Pemodelan ketersediaan air baku sangat bergantung pada beberapa fenomena, salah satu diantaranya adalah pengaruh iklim. Pemodelan untuk jangka pendek sangat penting untuk efisiensi manajemen dari air yang tersedia di reservoir dan peralatan yang terkait dengan reservoir tersebut, sedangkan pemodelan untuk jangka panjang (tahunan) sangat penting pada tahapan perancangan jaringan pipa distribusi (Antunes dkk, 2018).

Penelitian sebelumnya mengenai prakiraan ketersediaan air baku air minum untuk jangka pendek oleh Antunes dkk. (2018), menunjukkan bahwa ketersediaan air baku air minum dengan menggunakan metode *machine learning* dapat dipengaruhi oleh variabel iklim. Kemudian penelitian dari Ferijal (2016) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perubahan iklim terhadap debit air sungai. Selanjutnya, penelitian oleh Koutroulis

dkk. (2013) menyatakan bahwa hasil penelitian mereka tentang perubahan iklim terhadap sumber daya air di Pulau Crete, Yunani menunjukkan adanya pengurangan ketersediaan air sebesar 10-74% yang diakibatkan oleh perubahan iklim (Koutroulis dkk., 2013). Berdasarkan fenomena perubahan iklim yang terjadi saat ini, maka dinamika sistem merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk pemodelan fenomena ketersediaan air Kota Bandung, karena metode ini dinilai cocok digunakan untuk memprediksi ketersediaan air baku di Kota Bandung dan merupakan salah satu langkah maju dalam memprakirakan ketersediaan air di Kota Bandung untuk masa yang akan datang dalam mengantisipasi terjadinya ketidakstabilan air baku.

Tujuan kajian ini adalah menyusun konsep model ketersediaan air menggunakan metode dinamika sistem agar dapat dilakukan prakiraan ketersediaan air di Kota Bandung, serta mengidentifikasi faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhi model.

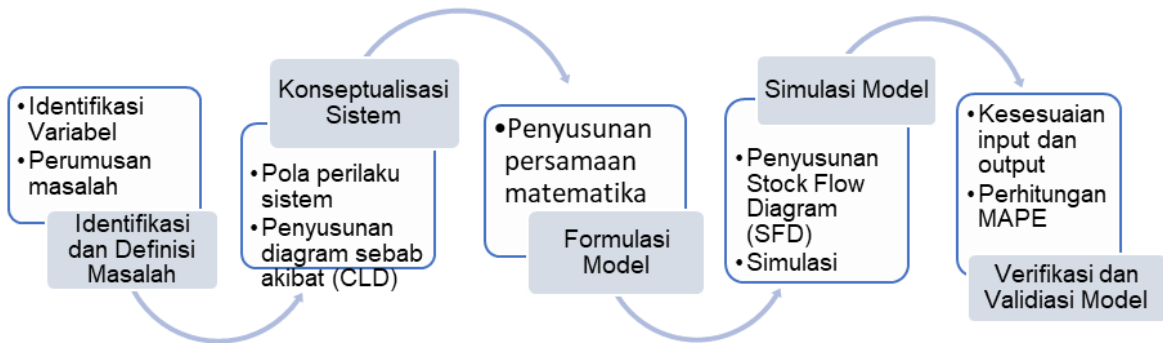
II. METODOLOGI

2.1. Umum

Studi penentuan pengaruh variabel iklim terhadap ketersediaan air baku yang direpresentasikan dengan debit air Sungai Cikapundung di Kota Bandung, dilakukan melalui pemodelan dinamika sistem sehingga berbagai faktor yang saling mempengaruhi dapat diketahui.

2.2. Proses Pengembangan Model

Proses pengembangan model dengan metode dinamika sistem dilakukan melalui beberapa tahapan, seperti pada Gambar 1. Variabel iklim yang diamati akan mengalami perubahan setiap saat secara dinamis atau sebagai fungsi dari waktu.



Gambar 1. Proses pengembangan model

2.2.1 Identifikasi dan Definisi Masalah

Pada tahap identifikasi dan definisi masalah dalam pemodelan dinamika sistem, dilakukan identifikasi variabel-variabel yang terlibat dalam sistem beserta hubungan dan keterkaitannya. Tahap ini bertujuan untuk memastikan pemahaman yang jelas mengenai masalah yang ingin dipecahkan serta faktor-faktor yang mempengaruhi.

Pengumpulan data dan analisis terhadap data dilakukan untuk mengidentifikasi variabel-variabel kunci dan hubungan antara variabel-variabel tersebut. Hasil dari tahap ini adalah perumusan masalah yang jelas dan rinci untuk membantu tahap selanjutnya dalam pemodelan dinamika sistem yaitu perumusan model matematis yang tepat dan akurat. Adapun beberapa variabel yang dimaksud adalah variabel iklim sebagai *input* dan debit air Sungai Cikapundung sebagai *output*.

2.2.2 Konseptualisasi Sistem

Konseptualisasi sistem dilakukan untuk melihat pola perilaku sistem yang dihasilkan seiring dengan berjalannya waktu. Sistem digambarkan dengan diagram sebab akibat (*causal loop diagram*) yang dibuat menggunakan Powersim Studio 10. *Causal*

Loop Diagram (CLD) digunakan sebagai dasar untuk pengembangan model sebelum dilakukan proses simulasi dengan menggunakan metode dinamika sistem.

2.2.3 Formulasi Model

Pada tahap formulasi model, dilakukan perubahan konsep sistem atau struktur model yang telah disusun menjadi bentuk persamaan matematika atau bahasa komputer. Hal ini bertujuan untuk membuat representasi model secara kuantitatif, sehingga model tersebut dapat disimulasikan untuk menentukan perilaku dinamis yang dihasilkan oleh asumsi-asumsi yang ada pada model. Dalam pemodelan dinamika sistem, struktur dasarnya terdiri dari beberapa persamaan, yaitu persamaan *level*, persamaan *rate*, persamaan *auxiliary*, persamaan sisipan, persamaan nilai awal, persamaan eksogen, aliran material, dan aliran informasi.

2.2.4 Simulasi Model

Tahapan simulasi ini dapat dilakukan setelah variabel yang digunakan dan model yang dibentuk dalam *Stock Flow Diagram* (SFD). Tahap selanjutnya adalah simulasi model yang akan memunculkan grafik dan tabel

untuk melihat hasil *running* dari *Stock Flow Diagram*. Setelah skenario *input* disiapkan, langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi model pada Powersim Studio 10. Simulasi ini akan menghasilkan *output* yang diinginkan berdasarkan skenario *input* yang telah ditentukan.

2.2.5 Verifikasi dan Validasi Model

Dalam proses verifikasi, model diuji untuk memastikan bahwa *input* dan *output*nya sesuai dengan yang diharapkan antara lain konsistensi, mengikuti prinsip-prinsip fisika, kimia, atau matematika yang relevan, memiliki kestabilan numerik yang memadai, memiliki tingkat ketelitian yang memadai, dan dapat menghasilkan *output* yang konsisten dan dapat diprediksi dalam berbagai situasi atau kondisi input yang berbeda.

Pada proses validasi akan dilakukan perhitungan menggunakan metode MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dengan Persamaan 1.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- A_t = Nilai aktual pada periode t
- F_t = Nilai forecast/Hasil simulasi pada periode t
- n = Besarnya data peramalan
- t = nomor data

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengembangan Model

Perumusan masalah yang jelas dan rinci sudah dilakukan. Pemahaman tentang sistem yang akan dimodelkan dituangkan dalam sebuah konsep. Hal ini memiliki tujuan untuk mendapatkan gambaran secara menyeluruh

tentang model yang akan dibuat. Tahap ini dimulai dengan mengidentifikasi semua komponen penting yang terlibat atau yang akan dimasukkan ke dalam pemodelan dan menetapkan batas model (*model boundaries*). Komponen-komponen tersebut kemudian dicari hubungannya satu sama lain dengan menggunakan metode diagram sebab-akibat (Murnawan & Mustofa, 2014). Tanda panah pada diagram diberi tanda (+) atau (-) tergantung pada hubungan yang terjadi apakah positif atau negatif. Tanda (+) digunakan untuk menyatakan hubungan yang terjadi antara dua faktor yang berubah dalam arah yang sama. Sedangkan tanda (-) digunakan jika hubungan yang terjadi antara dua faktor tersebut berubah dalam arah yang berlawanan. Adapun penjelasan dalam konseptualisasi sistem pada pemodelan ketersediaan air di Kota Bandung sebagai berikut.

- Variabel Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang jatuh di suatu wilayah dalam periode tertentu. Curah hujan memiliki pengaruh langsung terhadap debit air sungai. Ketika curah hujan tinggi, aliran air permukaan meningkat karena sebagian air hujan langsung mengalir ke sungai. Selain itu, curah hujan juga menyuplai air tanah (infiltrasi) yang kemudian mengisi akuifer dan menyumbangkan aliran bawah tanah ke sungai (aliran dasar). Oleh karena itu, curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan debit air sungai. Selain itu, menurut Murdiyarso dan Kurnianto, (2007) kondisi iklim seperti curah hujan sangat mempengaruhi fluktuasi debit air.

- Variabel Hari Hujan:

Jumlah hari hujan dalam periode tertentu juga berpengaruh terhadap debit air sungai. Jika terjadi lebih banyak hari hujan, kesempatan

untuk air meresap ke tanah menjadi lebih terbatas, dan aliran permukaan meningkat. Sebaliknya, jika hari-hari kering lebih banyak, laju penguapan meningkat, sehingga potensi aliran permukaan dan aliran bawah tanah menurun, mengakibatkan penurunan debit air sungai. Menurut Jackson (2014), perubahan iklim seperti perubahan karakteristik curah hujan dan hari hujan dapat berefek pada ketersediaan air.

- Variabel Kecepatan Angin:

Kecepatan angin mempengaruhi laju penguapan air dari permukaan tanah dan perairan. Semakin tinggi kecepatan angin, semakin cepat air menguap. Kecepatan angin yang tinggi juga dapat menyebabkan pencampuran air di permukaan perairan yang mengurangi tingkat penguapan. Dengan demikian, kecepatan angin dapat mempengaruhi ketersediaan air di wilayah tersebut. Menurut Schymanski (2015), kecepatan angin berperan dalam evapotranspirasi, yang merupakan proses di mana air dipindahkan dari tanah dan tumbuhan ke atmosfer. Kecepatan angin yang lebih tinggi meningkatkan laju penguapan dari permukaan seperti tanah dan badan air, menyebabkan hilangnya lebih banyak air dan pendinginan lingkungan sekitarnya.

- Variabel Temperatur

Temperatur memiliki pengaruh yang signifikan pada proses penguapan. Semakin tinggi suhu udara, semakin besar laju penguapan air dari tanah, permukaan air, dan vegetasi. Penguapan ini menyumbang sebagian besar air atmosfer yang kemudian dapat berkontribusi pada penurunan kelembaban dan pembentukan curah hujan. Jika suhu rendah, penguapan dapat menjadi lebih lambat, dan hal ini dapat mempengaruhi jumlah air yang tersedia untuk aliran

permukaan dan aliran bawah tanah. Menurut Ferijal (2016), adanya peningkatan temperatur udara akan berimbas pada meningkatnya evapotranspirasi potensial dan aktual harian yang pada akhirnya berdampak pada unsur-unsur cuaca lainnya seperti kelembaban dan curah hujan. Kemudian dilansir dari NOAA yang diakses pada 1 Juli 2023 menyatakan bahwa apabila temperatur meningkat maka kelembaban akan mengalami penurunan, dan apabila temperatur menurun maka kelembaban akan mengalami peningkatan.

- Variabel Kelembaban

Kelembaban adalah kandungan uap air dalam udara. Tingkat kelembaban mempengaruhi laju penguapan dan kondensasi. Jika kelembaban udara tinggi, laju penguapan akan lebih lambat karena udara sudah jenuh dengan uap air. Sebaliknya, jika kelembaban rendah, penguapan akan lebih cepat. Perubahan kelembaban juga dapat mempengaruhi pembentukan awan dan curah hujan, yang akhirnya dapat mempengaruhi debit air sungai. Menurut Muhtar, A. dan Abdullah, N. (2007) kelembaban udara juga dapat mempengaruhi debit air sungai. Jika udara lembab, penguapan air dari permukaan tanah dan vegetasi akan lebih tinggi, sehingga dapat meningkatkan aliran air menuju sungai.

Pengaruh dari beberapa variabel iklim terhadap debit air sungai ini kemudian akan diformulasikan ke dalam model matematis untuk mengetahui berapa persen pengaruh yang akan diberikan oleh variabel iklim terhadap ketersediaan air dalam hal ini diinterpretasikan oleh debit air Sungai Cikapundung. Penelitian Koutroulis dkk. (2013) menyatakan bahwa hasil penelitian mereka terhadap sumber daya air di Pulau Crete, Yunani menunjukkan akan adanya

pengurangan ketersediaan air yang berkisar antara 10% - 74% yang diakibatkan oleh adanya perubahan iklim. Konsep yang telah dituangkan dalam Causal Loop Diagram (CLD) dikembangkan menjadi model *Stock Flow Diagram* (SFD) untuk prediksi debit air sungai yang disimulasikan menggunakan *Powersim Studio 10. Software* Powersim merupakan salah satu alat yang sering digunakan pada pemodelan menggunakan dinamika sistem (Andawayanti dkk., 2021).

Pada tahap formulasi model, dihasilkan representasi model secara kuantitatif, sehingga model tersebut dapat disimulasikan untuk menentukan perilaku dinamis yang dihasilkan oleh asumsi-asumsi yang ada pada model.

3.2 Simulasi Model, Validasi dan Verifikasi Model

Simulasi model dibuat sesuai dengan identifikasi permasalahan untuk menganalisa sistem ketersediaan air di Kota Bandung. Pengaruh dari beberapa variabel iklim terhadap debit air sungai diformulasikan dalam model matematis untuk mengukur pengaruhnya terhadap debit air Sungai Cikapundung menggunakan *Powersim Studio 10*.

Penggunaan metode MAPE pada tahap validasi model adalah untuk menilai sejauh mana keakuratan model. Model yang memiliki nilai MAPE $\leq 10\%$ - 50% dianggap sebagai model yang valid. Semakin rendah nilai MAPE, maka semakin baik pula kualitas model yang dibuat. Lewis (1982) memberikan interpretasi nilai-nilai MAPE pada **Tabel 1**

Tabel 1 Interpretasi Nilai MAPE (Lewis, 1982)

Nilai MAPE	Interpretasi
≤ 10	Hasil Pemodelan Sangat Akurat
10 - 20	Hasil Pemodelan Baik
20 - 50	Hasil Pemodelan Wajar (<i>Reasonable</i>)
> 50	Hasil Pemodelan Tidak Layak

IV. KESIMPULAN

Ketersediaan air baku di Kota Bandung dapat digambarkan dan diprediksikan melalui sebuah model dengan menggunakan metode Dinamika Sistem. Variabel-variabel yang dilibatkan ke dalam model adalah variabel-variabel iklim yang dinamis sebagai variabel input yaitu curah hujan, jumlah hari hujan kelembapan, kecepatan angin, dan temperatur, sedangkan variabel debit Sungai Cikapundung sebagai variabel output.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik Universitas Pasundan yang telah mendanai kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dalam program Hibah FT periode tahun 2022-2023.

DAFTAR PUSTAKA

Afiatun, E., Notodarmojo, S., Effendi, A., & Sidarto, K. (2018). Cost Minimization of Raw Water Source by Integrated Water Supply Systems (A Case Study for Bandung, Indonesia). *International Journal of GEOMATE*, 14(46): 32-39, doi: 10.21660/2018.46.9 813.

- Andani, I. G. (2012). Peningkatan Penyediaan Air Bersih Perpipaan Kota Bandung dengan Pendekatan Pemodelan Dinamika Sistem. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota A SAPPK V1N1*, 69 - 78.
- Andawayanti, U., Muldianto, H., Suhartanto, E., Soetopo, W. (2021). Analisis Biaya Pengelolaan Air Dengan Metode Sistem Dinamik pada Waduk Jatigede. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(2): 197-124, doi: 10.21776/ub.pengairan.2021.012.02.11
- Antunes, A., Andrade-Campos, A., & Sardinha-Lourenço, A. a. (2018). Short-term Water Demand Forecasting Using Machine Learning Techniques. *Journal of Hydroinformatics*, 1343–1366.
- Muchtar, A. dan Abdullah, N. (2007). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Debit Sungai Mamasa. *Jurnal Hutan dan Masyarakat* 2(1): 174-187
- Ferijal, T., Mustafiril, & Sri, D. (2016). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Debit Andalan Sungai Krueng Aceh. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 9(1): 50-61.
- Halimatusadiyah, S., Hadi, D. A., & Mardiana, R. (2012). Efektivitas Kelembagaan Partisipatoris Di Hulu Daerah Aliran Sungai Citarum. *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 71-90.
- Jakson. Alex. (2014). Discharge & Hydrographs. Diakses pada 1 Juli 2023, dari <https://geographyas.info/rivers/discharge-and-hydrographs/>
- Koutroulis, A., Tsanis, I., Daliakopoulos, I., & Jacob, D. (2013). Impact of climate change on water resources status: A case study for Crete Island, Greece. *Journal of Hydrology*, 479:146-158.
- Lewis, C. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*. London: Butterworths.
- Mudiyarso D dan Kurnianto S. (2007). Peranan vegetasi dalam mengatur pasokan air. Makalah Workshop "Peran Hutan dan Kehutanan dalam Meningkatkan Daya Dukung DAS", di Surakarta, 22 November 2007. Balai Penelitian Kehutanan Solo.
- Murnawan, H. dan Mustofa. (2014). Perencanaan Produktivitas Kerja dari Hasil Evaluasi Produktivitas dengan Metode Fishbone di Perusahaan Percetakan Kemasan PT.X. *Jurnal Teknik Industri Heuristic*, 11(1): 27-46
- Putra, Rendi E., and Anggi Rustini. (2019). "Persebaran Kualitas Air Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung Hilir." INA-Rxiv. July 30. doi:10.31227/osf.io/32vj6.0
- Schymanski, Stanislaus & Or, D.. (2015). Wind effects on leaf transpiration challenge the concept of "potential evaporation". Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 371. 99-107. 10.5194/piahs-371-99-2015.
- Yustiani, Y.M., Lidya, L. (2016). Towards an Information System of Modeling and Monitoring of Cikapundung River, Bandung, Indonesia. *Procedia Engineering*, 154: 353-360, doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.490.
- Yustiani, Y.M., Nurkanti, M., Suliasih, N., dan Novantri, A. (2018). Influencing

parameters of self purification process
in the urban area of Cikapundung River,
Indonesia. *International Journal of*

Geomate, 14(43): 50-54, doi:
10.21660/2018.43.354