

**PERENCANAAN BANGUNAN AIR BAKU  
SISTEM PENYEDIAAN AIR MINUM SPAM CIKEMBAR  
MELALUI PENDEKATAN KELESTARIAN HUTAN**

*Raw Water Intake Planning for Cikembar Drinking Water Supply System via  
Forest Sustainability Approach*

YUKEU DWI HASYTI<sup>1)</sup>, YULIATY HELIANA PANGOW<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Perencanaan dan Arsitektur,  
Universitas Winaya Mukti, Jalan Pahlawan No 69 Bandung, Indonesia

\*Email: [yukeudwihasyti@gmail.com](mailto:yukeudwihasyti@gmail.com)

Diterima Februari 2026/Disetujui April 2026

**ABSTRACT**

*Clean water supply in Indonesia faces several challenges, including limited access, poor water quality, and unequal distribution. Cikembar District in Sukabumi is a rapidly developing area that lacks adequate water supply infrastructure. This study aims to design a raw water intake structure and transmission pipeline to optimize the Cikembar Water Supply System (SPAM) while integrating forest and water resource conservation principles. The research uses a descriptive approach with both qualitative and quantitative methods through field observations and interviews. The results show that the Cikembar SPAM utilizes water from the Ubrug Hydropower Plant (PLTA) reservoir, supplying three Water Treatment Plants (WTPs) with a total capacity of 130 liters per second, serving 10,135 household connections as of June 2024. However, water supply is often disrupted due to PLTA maintenance and decreased raw water discharge during the dry season. Therefore, an additional intake, raw water transmission network, and collection basin are planned to ensure continuous water availability. The integration of forest and water resource conservation aims to support sustainable water supply by maintaining the quality, quantity, and continuity (3Q) of drinking water services at an optimal level.*

**Keywords:** *Intake, Raw Water Transmission, Water Supply System, Water Resource Conservation.*

## PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang memiliki peran fundamental dalam menunjang kehidupan manusia dan keberlanjutan pembangunan. Sebagai negara kepulauan dengan karakteristik geografis dan sosial yang beragam, Indonesia memiliki potensi sumber daya air yang besar, namun belum sepenuhnya mampu menjamin akses air minum yang merata, berkualitas, dan berkelanjutan (World Health Organization, 2017). Tantangan utama terletak pada ketimpangan distribusi, degradasi kualitas air permukaan akibat pencemaran domestik dan industri, serta penurunan kuantitas air baku yang dipengaruhi oleh perubahan tata guna lahan dan degradasi daerah tangkapan air (Ariyanto & Hadi, 2019).

Standar penyediaan air minum di Indonesia telah ditegaskan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015 yang mensyaratkan terpenuhinya aspek kualitas, kuantitas, dan kontinuitas (K3) (Pemerintah Republik Indonesia, 2015). Di sisi lain, pengendalian pencemaran dan perlindungan mutu air diatur melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Meskipun kerangka regulasi telah tersedia, implementasi di tingkat daerah masih menghadapi berbagai kendala teknis dan ekologis, terutama dalam menjaga kontinuitas pasokan air baku pada musim kemarau (Banda & Kumarasamy, 2020).

Permasalahan tersebut tercermin di Kecamatan Cikembar yang dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan pesat di sektor permukiman, perdagangan, dan industri. Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Cikembar saat ini mengandalkan sumber air permukaan dari Kolam Tando PLTA Ubrug dengan kapasitas terpasang 130 liter per detik dan melayani lebih dari sepuluh ribu sambungan rumah. Namun, sistem ini menghadapi gangguan pasokan akibat pemeliharaan pembangkit serta fluktuasi debit pada musim kemarau. Ketergantungan pada satu sumber air baku menyebabkan distribusi air tidak stabil dan pada kondisi tertentu harus dilakukan penggiliran aliran (Firdaus, 2023).

Kajian-kajian terdahulu mengenai optimalisasi Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) umumnya berfokus pada aspek teknis seperti analisis kebutuhan air, perencanaan hidrolika intake, serta desain pipa transmisi (Hadi & Siregar, 2018). Sementara itu, penelitian di bidang konservasi daerah aliran sungai lebih banyak menitikberatkan pada rehabilitasi hutan, pengendalian erosi, dan peningkatan infiltrasi tanpa mengaitkannya secara langsung dengan desain sistem penyediaan air minum (Pratiwi & Yuliani, 2021).

Dengan demikian, terdapat kesenjangan ilmiah berupa belum terintegrasinya pendekatan rekayasa hidrolika dengan konservasi hidrologi dalam satu model perencanaan yang kuantitatif dan operasional. Integrasi ini penting untuk menjamin keberlanjutan debit dasar (baseflow) sungai, terutama pada musim kemarau, sehingga kontinuitas pasokan air baku dapat terjaga (Triatmodjo, 2015).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Juni 2024 di wilayah Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Cikembar, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Lokasi kajian mencakup sumber air baku eksisting Kolam Tando PLTA Ubrug, rencana lokasi intake cadangan di Sungai Cicatih pada elevasi  $\pm 243$  mdpl, jalur rencana pipa transmisi, serta Instalasi Pengolahan Air (IPA) Cikembar. Penentuan lokasi penelitian didasarkan pada adanya permasalahan kontinuitas pasokan air baku yang memerlukan alternatif sumber dan penguatan sistem transmisi.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Juni 2024 di wilayah SPAM Cikembar, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Lokasi penelitian meliputi rencana intake cadangan di Sungai Cicatih, jalur pipa transmisi menuju bak pengumpul, serta Instalasi Pengolahan Air (IPA) Cikembar. Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer berupa debit sungai, data elevasi, kondisi eksisting bangunan air, kapasitas IPA, serta kapasitas reservoir. Data sekunder meliputi jumlah Sambungan Rumah (SR), data kependudukan, proyeksi pertumbuhan penduduk, data curah hujan, dan dokumen teknis operasional SPAM.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, pengukuran langsung debit dan elevasi, wawancara dengan pihak pengelola SPAM, serta studi dokumentasi dari instansi terkait. Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi fisik sungai, potensi lokasi intake, serta jalur transmisi.

Pengukuran debit dilakukan menggunakan metode luas penampang dan kecepatan aliran, sedangkan data elevasi diperoleh dari pengukuran topografi dan peta kontur. Konsep penggunaan debit andalan sebagai dasar perencanaan mengacu pada teori hidrologi yang menyatakan bahwa perencanaan bangunan air harus mempertimbangkan debit yang dapat dijamin ketersediaannya dalam periode tertentu (Triatmodjo, 2015).

Proyeksi jumlah penduduk menggunakan metode geometrik:

$$P_n = P_0 (1 + r)^n$$

dimana:

$P_n$  = jumlah penduduk pada tahun ke- $n$  (jiwa)

$P_0$  = jumlah penduduk awal (jiwa)

$r$  = laju pertumbuhan penduduk (desimal)

$n$  = periode proyeksi (tahun)

Kebutuhan air domestik dihitung dengan:

$$Q_{dom} = P_n \times q$$

dimana:

$Q_{dom}$  = kebutuhan air domestik (liter/hari)

$P_n$  = jumlah penduduk hasil proyeksi (jiwa)

$q$  = konsumsi air per kapita (liter/orang/hari)

Perhitungan ini mengacu pada standar kebutuhan air domestik dalam perencanaan instalasi pengolahan air (Anrianisa, 2015). Debit maksimum dihitung dengan:

$$Q_{max} = Q_{rata} \times F_p$$

dimana:

$Q_{max}$  = debit maksimum (liter/detik)

$Q_{rata}$  = debit rata-rata (liter/detik)

$F_p$  = faktor jam puncak

Faktor puncak digunakan untuk mengakomodasi fluktuasi kebutuhan air harian. Perencanaan bangunan intake menggunakan persamaan Manning:

$$Q = (1/n) A R^{(2/3)} S^{(1/2)}$$

dimana:

$Q$  = debit aliran ( $m^3/detik$ )

$n$  = koefisien kekasaran Manning

$A$  = luas penampang basah ( $m^2$ )

$R$  = jari-jari hidrolis ( $A/P$ )

$S$  = kemiringan dasar saluran

Persamaan ini digunakan dalam analisis saluran terbuka untuk menentukan dimensi intake sesuai teori bangunan air baku (Triraharjo, 2016).

Perencanaan pipa transmisi menggunakan persamaan Hazen-Williams:

$$h_f = 10,67 (L Q^{1,852}) / (C^{1,852} D^{4,87})$$

dimana:

$h_f$  = kehilangan tinggi tekan (m)

$L$  = panjang pipa (m)

$Q$  = debit aliran ( $m^3/detik$ )

$C$  = koefisien kekasaran Hazen-Williams

$D$  = diameter pipa (m)

Persamaan ini umum digunakan dalam perencanaan pipa transmisi air baku (Nizar, 2012). Total head pompa dihitung dengan:

$$H_{total} = H_{statis} + h_f$$

dimana:

$H_{total}$  = total head pompa (m)

Hstatis = beda elevasi antara intake dan IPA (m)

hf = kehilangan energi sepanjang pipa (m)

Daya pompa dihitung dengan:

$$P = (\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{total}) / \eta$$

dimana:

P = daya pompa (Watt)

$\rho$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>)

Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/detik)

Htotal = total head (m)

$\eta$  = efisiensi pompa

Perhitungan ini digunakan untuk menentukan kebutuhan energi sistem pemompaan.

Analisis akhir dilakukan dengan mengevaluasi kesesuaian kapasitas intake, bak pengumpul, dan pipa transmisi terhadap debit rencana serta keandalan sistem dalam menjamin aspek kuantitas dan kontinuitas pelayanan. Evaluasi ini mengacu pada kriteria teknis penyediaan air minum sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015, sehingga hasil perencanaan dapat dinyatakan layak secara teknis dan operasional.

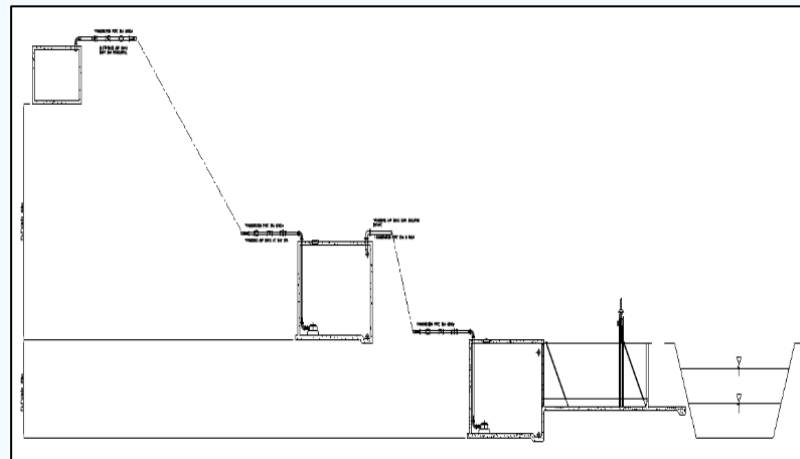
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimalisasi Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Cikembar diposisikan dalam kerangka pengelolaan daerah tangkapan air yang menekankan keterkaitan antara fungsi hidrologis hutan dan keberlanjutan infrastruktur air. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan analisis spasial, wilayah hulu Sungai Cicatih masih didominasi oleh tutupan hutan sekunder dan perkebunan rakyat, namun tekanan alih fungsi lahan menuju permukiman dan kegiatan industri menunjukkan tren peningkatan. Perubahan tata guna lahan tersebut berimplikasi terhadap penurunan kapasitas infiltrasi, peningkatan limpasan permukaan, serta potensi erosi dan sedimentasi yang dapat memengaruhi stabilitas debit sungai sebagai sumber air baku. Dalam perspektif pengelolaan hutan berbasis fungsi ekosistem, kondisi ini mengindikasikan perlunya penguatan strategi konservasi sebagai bagian integral dari perencanaan sistem penyediaan air. Koefisien limpasan menjadi indikator kunci dalam mengevaluasi respon hidrologi DAS Cicatih terhadap perubahan tersebut, yang secara kuantitatif dinyatakan melalui persamaan berikut.

Berdasarkan perhitungan, dengan curah hujan sebesar 150 mm dan limpasan terukur sebesar 60 mm, diperoleh nilai koefisien limpasan sebesar C =

0,40. Nilai ini dapat divalidasi melalui pendekatan tutupan lahan, dimana komposisi 60% hutan ( $C = 0,2$ ) dan 40% permukiman ( $C = 0,7$ ) menghasilkan nilai rata-rata tertimbang  $C = (0,6 \times 0,2) + (0,4 \times 0,7) = 0,40$ . Konsistensi hasil ini menunjukkan bahwa kondisi DAS Cicatih berada pada kategori sedang, dimana sebagian air hujan masih mampu meresap ke dalam tanah, namun peningkatan area non-hutan berpotensi memperbesar limpasan permukaan. Dengan demikian, pelestarian hutan memiliki peran strategis dalam menurunkan koefisien limpasan melalui peningkatan infiltrasi, intersepsi tajuk, serta kapasitas penyimpanan air tanah, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap kestabilan debit dan keberlanjutan penyediaan air baku bagi SPAM Cikembar.

Pada Gambar 1. menggambarkan hubungan elevasi antara intake Sungai Cicatih ( $\pm 243$  mdpl), bak pengumpul ( $\pm 263$  mdpl), dan IPA Cikembar ( $\pm 323$  mdpl) yang menunjukkan adanya perbedaan elevasi total sekitar 60 meter. Profil ini memperlihatkan garis energi dan garis hidrolis sepanjang jalur transmisi, termasuk pengaruh kehilangan energi (*headloss*) akibat gesekan pipa yang dihitung menggunakan persamaan Hazen-Williams. Berdasarkan analisis, total head sistem merupakan penjumlahan antara head statis dan headloss, sehingga diperlukan sistem pemompaan untuk menjamin debit rencana 200 L/detik dapat dialirkan secara stabil menuju IPA. Dengan demikian, profil hidrolis ini menjadi dasar teknis dalam menentukan kebutuhan diameter pipa, kapasitas pompa, serta memastikan kontinuitas dan keandalan sistem transmisi air baku.



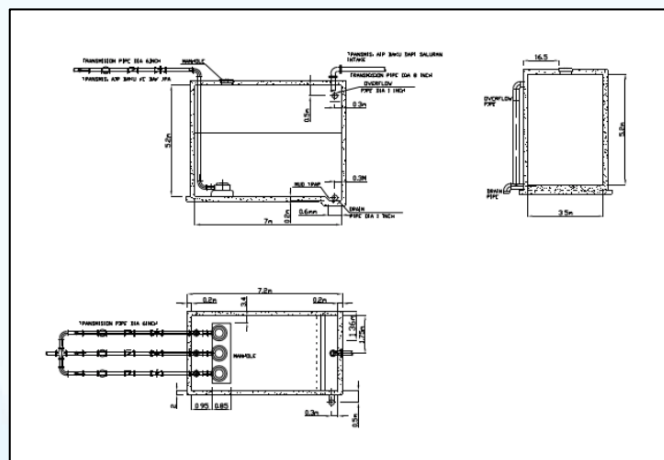
Gambar 1 Profil Hidrolis.

Berdasarkan hasil proyeksi jumlah penduduk dengan metode geometrik diperoleh peningkatan jumlah penduduk tiap tahun yang berdampak langsung terhadap kenaikan kebutuhan air domestik. Dengan asumsi konsumsi rata-rata 100–120 liter/orang/hari dan faktor jam puncak, diperoleh debit rata-rata kebutuhan air

yang kemudian menghasilkan debit maksimum ( $Q_{max}$ ) sebesar 300 L/detik. Debit rencana sistem ditetapkan sebesar 200 L/detik untuk tahap optimalisasi. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas eksisting IPA sebesar 130 L/detik belum memiliki cadangan kapasitas yang memadai untuk menjamin kontinuitas pelayanan dalam jangka panjang. Kondisi ini sejalan dengan fenomena krisis air yang dilaporkan oleh Randy Ferdi Firdaus (2023) yang menegaskan bahwa peningkatan kebutuhan air dan keterbatasan sumber daya menjadi penyebab utama gangguan layanan air di berbagai wilayah. Dengan demikian, penambahan sumber air baku menjadi solusi strategis untuk meningkatkan ketahanan sistem.

Analisis ketersediaan debit Sungai Cicatih menunjukkan bahwa debit andalan mampu memenuhi debit rencana 200 L/detik. Pendekatan analisis hidrologi mengacu pada konsep debit andalan sebagaimana dijelaskan oleh Bambang Triatmodjo dalam buku Hidrologi Terapan, bahwa perencanaan bangunan air harus didasarkan pada debit yang dapat dijamin ketersediaannya dalam periode tertentu. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa secara kuantitas, Sungai Cicatih layak dijadikan sumber air baku alternatif untuk mendukung SPAM Cikembar.

Gambar 2. Bak Pengumpul Air Baku memperlihatkan rancangan struktur bak yang berfungsi sebagai penampung sementara air hasil pengambilan dari intake sebelum dialirkan ke sistem transmisi dan pompa menuju IPA. Bak ini direncanakan dengan dimensi 7 m  $\times$  3,5 m  $\times$  5,2 m sehingga mampu menampung debit rencana 200 L/detik serta mengakomodasi debit maksimum 300 L/detik tanpa mengganggu stabilitas aliran. Secara hidrolis, bak pengumpul berperan sebagai unit penyeimbang (buffer) untuk meredam fluktuasi debit sungai, mengurangi turbulensi, serta menjaga kontinuitas suplai air baku. Dengan kapasitas tampungan yang memadai, bak ini juga membantu menjaga kestabilan tekanan dan efisiensi kerja pompa, sehingga sistem transmisi menuju IPA dapat beroperasi secara optimal dan andal.



Gambar 2 Bak Pengumpul Air Baku.

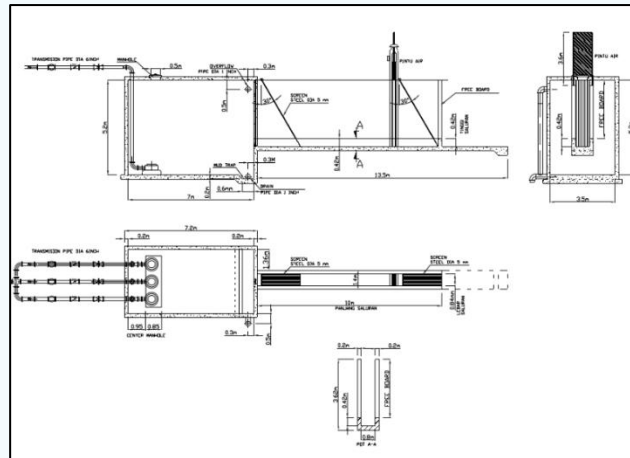
Perencanaan bangunan intake dilakukan menggunakan persamaan Manning. Dengan koefisien kekasaran  $n = 0,014$  dan kemiringan dasar saluran  $S = 0,002$ , diperoleh tinggi aliran ( $h$ ) sebesar  $0,42$  m untuk debit  $200$  L/detik. Dimensi saluran direncanakan dengan lebar  $0,84$  m dan tinggi total bangunan  $3,62$  m agar mampu mengakomodasi debit maksimum serta fluktuasi muka air sungai. Hasil ini sesuai dengan teori perencanaan bangunan pengambilan air baku yang dikemukakan oleh Agung Triraharjo (2016), bahwa dimensi intake harus dirancang berdasarkan debit rencana dan mempertimbangkan faktor keamanan terhadap variasi hidrologis. Selain itu, konsep perencanaan unit air baku juga mengacu pada teori dalam buku Teori dan Perencanaan Instalasi Pengolah Air yang menekankan pentingnya kesesuaian antara kapasitas intake dan kapasitas instalasi pengolahan.

Perencanaan pipa transmisi dilakukan dengan menghitung kehilangan energi menggunakan persamaan Hazen-Williams. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai headloss yang masih lebih kecil dibandingkan beda elevasi total sekitar  $60$  m antara intake ( $\pm 243$  mdpl) dan IPA ( $\pm 323$  mdpl). Total head sistem diperoleh dari penjumlahan head statis dan headloss, sehingga kebutuhan daya pompa dapat ditentukan secara efisien. Diameter pipa dipilih agar kecepatan aliran berada dalam batas yang direkomendasikan ( $\pm 0,6$ – $2,0$  m/detik) sehingga tidak menimbulkan sedimentasi maupun tekanan berlebih. Hasil ini sejalan dengan prinsip perencanaan pipa transmisi air baku sebagaimana dijelaskan oleh Nizar SK (2012), bahwa pemilihan diameter pipa harus mempertimbangkan keseimbangan antara efisiensi hidrolis dan biaya operasional.

Evaluasi akhir menunjukkan bahwa pembangunan intake cadangan dengan kapasitas  $200$  L/detik, bak pengumpul berukuran  $7\text{ m} \times 3,5\text{ m} \times 5,2\text{ m}$ , serta sistem transmisi dengan dukungan pompa mampu meningkatkan aspek kuantitas dan kontinuitas pelayanan SPAM Cikembar. Secara regulatif, perencanaan ini telah memenuhi prinsip penyediaan air minum yang mencakup kualitas, kuantitas, dan kontinuitas sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015.

Pada Gambar 3. Saluran Intake dan Kolam Pengumpul Intake menunjukkan rancangan bangunan pengambilan air baku yang terdiri atas saluran intake berbentuk persegi dan kolam pengumpul sebagai unit penyeimbang aliran sebelum air dialirkan ke sistem transmisi. Saluran intake direncanakan mampu mengalirkan debit rencana  $200$  L/detik dengan dimensi yang telah dihitung menggunakan persamaan Manning, sehingga aliran tetap stabil dan tidak meluap saat debit maksimum  $300$  L/detik. Kolam pengumpul berfungsi sebagai penampung sementara untuk meredam fluktuasi debit sungai, mengurangi turbulensi, serta menjaga kontinuitas suplai menuju pompa dan IPA. Secara teknis, kombinasi

saluran intake dan kolam pengumpul ini dirancang untuk menjamin kestabilan hidrolis, keamanan struktur, dan keandalan operasional sistem penyediaan air baku.



Gambar 3 Saluran Intake dan Kolam Pengumpul Intake.

Dengan demikian, hasil perhitungan hidrologi dan hidrolika menunjukkan bahwa optimalisasi melalui pembangunan intake cadangan Sungai Cicatih layak secara teknis, mendukung keberlanjutan pelayanan, serta relevan dengan kondisi krisis air global dan nasional yang menuntut sistem penyediaan air minum yang lebih adaptif dan andal.

## KESIMPULAN

Optimalisasi SPAM Cikembar Sukabumi dilakukan melalui perencanaan bangunan intake cadangan di Sungai Cicatih dan sistem pipa transmisi yang mampu menjamin kontinuitas pasokan air baku saat sumber utama dari PLTA Ubrug mengalami gangguan. Perencanaan teknis menetapkan debit rencana 200 L/detik dengan  $Q_{max}$  300 L/detik, desain saluran beton ( $n = 0,014$ ;  $S = 0,002$ ) dengan tinggi aliran 0,42 m, tinggi total 3,62 m, dan lebar 0,84 m, serta kolam pengumpul berukuran 7 m  $\times$  3,5 m  $\times$  5,2 m. Perbedaan elevasi 60 m antara intake dan IPA diatasi melalui sistem pemompaan untuk menjaga tekanan dan kontinuitas aliran. Secara simultan, pendekatan konservasi hutan di daerah tangkapan Sungai Cicatih diintegrasikan untuk menjaga stabilitas debit dan keberlanjutan sumber air. Dengan demikian, rancangan ini ditujukan untuk memenuhi aspek kualitas, kuantitas, dan kontinuitas (K3) sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015 secara terukur dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anrianisa. (2015). Teori dan perencanaan instalasi pengolah air. Ekamitra Engineering.
- Ariyanto, D., & Hadi, W. (2019). Analisis kebutuhan air bersih berdasarkan pertumbuhan penduduk di wilayah perkotaan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(2), 101–110.
- Banda, K., & Kumarasamy, M. (2020). Sustainable water supply systems under climate variability. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(5), 04020023. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001185](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001185)
- Firdaus, R. F. (2023, May 25). Krisis air terjadi hampir di seluruh dunia, ini penyebabnya. *Merdeka.com*. <https://www.merdeka.com/peristiwa/krisis-air-terjadi-hampir-di-seluruh-dunia-ini-penyebabnya.html>
- Hadi, S., & Siregar, R. (2018). Perencanaan intake dan sistem transmisi air baku pada sistem penyediaan air minum. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 14(1), 45–54.
- Nizar, S. K. (2012). Perencanaan pipa transmisi sumber air baku sungai. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(1), 1–10.
- Pratiwi, N., & Yuliani, E. (2021). Analisis debit andalan sebagai dasar perencanaan bangunan air baku. *Jurnal Hidroteknik*, 12(3), 155–163.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum. (2015). Pemerintah Republik Indonesia.
- Setiawan, A., & Nugroho, T. (2020). Evaluasi kehilangan energi pada jaringan pipa distribusi air bersih menggunakan metode Hazen–Williams. *Jurnal Teknik Pengairan*, 11(2), 87–95.
- Suryadi, I., & Kurniawan, A. (2017). Optimasi kapasitas reservoir dalam sistem penyediaan air minum. *Jurnal Infrastruktur*, 3(2), 66–74.
- Triatmodjo, B. (2015). Hidrologi terapan. Beta Offset.
- Triraharjo, A. (2016). Analisis perencanaan bangunan pengambilan air baku pada sistem penyediaan air minum. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 6(1), 23–31.
- Wahyuni, D., & Rahman, A. (2019). Kajian kebutuhan air domestik berdasarkan proyeksi pertumbuhan penduduk. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(1), 59–68.
- World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). WHO Press.
- Zhang, Q., Li, Y., & Wang, H. (2018). Hydraulic performance analysis of water transmission pipelines. *Water*, 10(9), 1234. <https://doi.org/10.3390/w10091234>