

SIMULASI DAN PERENCANAAN JARINGAN AIR BERSIH MENGUNAKAN EPANET 2.2 PADA DESA KARANGLUHUR

Nasyiin Faqih¹, Mazhricky Ulinnuha²

- 1) Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo
- 2) Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al-Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo
email: nasyiin@unsiq.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel :

Diterima : 30 April 2025

Disetujui : 30 Mei 2025

Kata Kunci : air bersih, debit, QGIS, EPANET, jaringan pipa

ABSTRAK

Desa Karangluhur, Kecamatan Kertek, Kabupaten Wonosobo, memiliki potensi sumber mata air yang melimpah, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Masyarakat masih bergantung pada satu sumber utama, sementara sumber lain belum dapat dimanfaatkan karena keterbatasan pengelolaan. Penelitian ini bertujuan merancang jaringan distribusi air bersih untuk memenuhi kebutuhan hingga tahun 2039. Metode yang digunakan meliputi proyeksi penduduk dengan metode eksponensial (rasio 0,44%), perhitungan kebutuhan air, debit rencana, dimensi pipa, kecepatan aliran, kehilangan energi, dan tekanan sisa. Data dianalisis dengan bantuan QGIS untuk pemetaan elevasi dan EPANET 2.2 untuk simulasi hidraulik. Hasil menunjukkan bahwa kebutuhan air jam puncak sebesar 12,01 lt/dt masih dapat dipenuhi oleh debit mata air 22,38 lt/dt. Jaringan menggunakan pipa PVC dengan diameter sesuai debit, dengan kecepatan rata-rata 0,77 m/s dan tekanan minimum 4,9 Mka. Sistem ini diharapkan meningkatkan efisiensi dan pemerataan distribusi air bersih di empat dusun utama.

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel :

Received : 30 April 2025

Accepted : 30 May 2025

Key words: clean water, discharge, QGIS, EPANET, pipeline network

ABSTRACT

Karangluhur Village, located in Kertek Subdistrict, Wonosobo Regency, has abundant spring water potential that remains underutilized. The community still relies on a single primary water source, while other springs cannot yet be used due to limited management. This study aims to design a clean water distribution network to meet the projected needs through 2039. The methods employed include exponential population projection (growth rate of 0.44%), calculation of water demand, planned discharge, pipe sizing, flow velocity, energy loss, and residual pressure. Data analysis was conducted using QGIS for elevation mapping and EPANET 2.2 for hydraulic simulation. The results show that the projected peak hour demand of 12.01 L/s can still be met by the available spring discharge of 22.38 L/s. The distribution network is designed using PVC pipes with diameters adjusted to flow requirements, achieving an average flow velocity of 0.77 m/s and a minimum residual pressure of 4.9 meters of water column (Mka). The system is expected to enhance the efficiency and equity of clean water distribution across the four main hamlets.

1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan mendasar bagi kehidupan manusia yang berperan penting dalam menjaga kesehatan, mendukung kegiatan sosial ekonomi, dan menjamin kelangsungan hidup. Ketersediaan dan distribusi air bersih menjadi tantangan tersendiri, terutama di wilayah pedesaan yang memiliki keterbatasan infrastruktur dan pengelolaan sumber daya (Faqih, 2020). Salah satu daerah yang menghadapi permasalahan tersebut adalah Desa Karangluhur, Kecamatan Kertek, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah.

Meskipun Desa Karangluhur dianugerahi beberapa sumber mata air dengan debit yang relatif besar, pemanfaatannya belum optimal. Saat ini, masyarakat hanya mengandalkan satu sumber mata air yang tidak mencukupi untuk kebutuhan air bersih seluruh warga, terutama di empat dusun utama: Krakal, Kliwonan, Marong, dan Gosono. Permasalahan distribusi disebabkan oleh berbagai faktor seperti kerusakan jaringan pipa, praktik penggunaan air yang tidak terkontrol, serta minimnya manajemen terpadu oleh pemerintah desa. Akibatnya, distribusi air tidak merata dan menyebabkan ketimpangan akses antardusun.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini merancang sistem jaringan distribusi air bersih yang efektif dan efisien berbasis data teknis, teknologi perangkat lunak (QGIS dan EPANET 2.2), serta pendekatan matematis melalui proyeksi kebutuhan air dan desain hidraulik (Faqih *et al.*, 2023). Dengan demikian, distribusi air bersih dapat dilakukan secara adil dan berkelanjutan hingga tahun 2039 sesuai pertumbuhan penduduk yang diproyeksikan sebesar 0,44% per tahun.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang ulang sistem jaringan distribusi air bersih yang mampu melayani seluruh wilayah Desa Karangluhur secara merata, memperhitungkan kebutuhan jangka panjang berdasarkan pertumbuhan penduduk, dan meminimalkan kehilangan air serta tekanan negatif dalam sistem. Penelitian ini juga menyusun desain jaringan pipa beserta estimasi anggaran dan kebutuhan komponen distribusi air seperti bak penampung dan pompa.

Secara teoritis, perencanaan jaringan distribusi air bersih mengacu pada prinsip-

prinsip dasar hidraulika (Triatmojo, 1999) yang mencakup proyeksi jumlah penduduk, perhitungan debit rencana, kecepatan aliran, kehilangan energi, tekanan hidraulik, dan perhitungan dimensi pipa (Faqih and Budi Yuwono, 2022). Selain itu, regulasi dan standar perencanaan dari Direktorat Jenderal Cipta Karya dan Kementerian Kesehatan menjadi acuan penting dalam menentukan kualitas dan kapasitas sistem distribusi air bersih. Studi sebelumnya oleh Sudarmadji *et al.*, 2019 dan Naila, 2023, juga menekankan pentingnya optimalisasi mata air dan penggunaan perangkat lunak simulasi dalam meningkatkan efisiensi sistem penyediaan air.

Diharapkan hasil dari penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknis yang aplikatif, tetapi juga menjadi acuan bagi pemerintah desa dan masyarakat dalam mengelola sumber air secara berkelanjutan. Manfaat jangka panjang dari sistem yang dirancang mencakup peningkatan taraf hidup masyarakat, pengurangan risiko penyakit akibat air tercemar, serta efisiensi biaya dalam operasional dan perawatan jaringan air bersih.

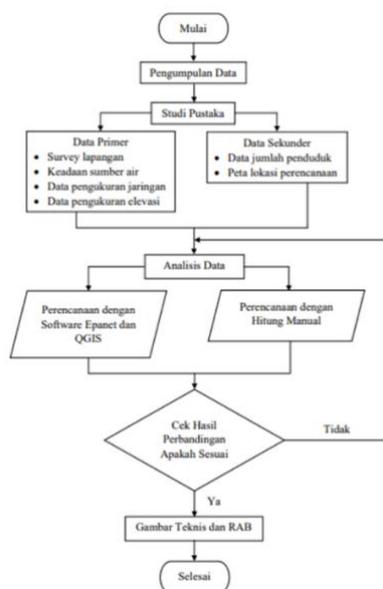
2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan rancangan penelitian deskriptif teknis yang bertujuan untuk merancang sistem jaringan distribusi air bersih yang efektif berdasarkan data hidrologi, proyeksi penduduk, dan kondisi topografi wilayah. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh penduduk Desa Karangluhur yang terdiri dari empat dusun, dengan jumlah penduduk sebanyak 6092 jiwa pada tahun dasar 2024. Sampel dalam penelitian ini merupakan keseluruhan wilayah layanan sistem distribusi air bersih, karena penelitian ini bersifat perencanaan infrastruktur menyeluruh (total population) (Suyono, 1993).

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, pengukuran debit mata air, serta pengumpulan data sekunder dari kantor desa dan Dinas Pekerjaan Umum. Instrumen yang digunakan antara lain: formulir pengamatan debit, GPS untuk penentuan koordinat dan elevasi titik layanan, serta kamera digital untuk dokumentasi kondisi eksisting (Vinten *et al.*, 2014). Studi pustaka digunakan untuk memperoleh acuan

teknis dan teoritik perencanaan sistem distribusi air dari literatur dan regulasi yang berlaku.

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan: pertama, proyeksi jumlah penduduk hingga tahun 2039 menggunakan metode eksponensial (Karya, 2007). Kedua, perhitungan kebutuhan air rata-rata, harian puncak, dan jam puncak berdasarkan standar kebutuhan domestik dan non-domestik. Ketiga, perhitungan hidraulik meliputi kecepatan aliran, diameter pipa, dan kehilangan energi dengan rumus Hazen-Williams (Sibyan *et al.*, 2022). Selanjutnya dilakukan pemodelan jaringan distribusi menggunakan perangkat lunak QGIS untuk pemetaan topografi dan EPANET 2.2 untuk simulasi hidraulik dan validasi teknis.



Gambar 1. Diagram alir Perencanaan Air Bersih

Spesifikasi alat yang digunakan antara lain GPS Geodetik tipe dual-frequency untuk akurasi tinggi, serta perangkat lunak QGIS 3.22 dan EPANET 2.2 untuk pemodelan spasial dan hidraulik. Bahan utama yang direncanakan dalam sistem distribusi adalah pipa jenis PVC kelas AW dengan variasi diameter 2-4 inch, serta beton bertulang untuk konstruksi bak penampungan. Validasi hasil dilakukan melalui pengecekan kecukupan tekanan dan distribusi debit pada setiap node layanan.

Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan desain teknis sistem distribusi air bersih yang handal,

ekonomis, dan dapat diterapkan langsung oleh pemerintah desa maupun mitra pembangunan infrastruktur lainnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, penulis akan menguraikan hasil-hasil utama dari penelitian ini yang berfokus pada perencanaan sistem distribusi air bersih untuk Desa Karangluhur. Proses analisis dilakukan berdasarkan data lapangan dan model simulasi hidraulik untuk memastikan distribusi air yang efektif dan efisien.

3.1. Proyeksi Pertumbuhan Penduduk

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus pertumbuhan eksponensial, proyeksi jumlah penduduk Desa Karangluhur pada tahun 2029, 2034, dan 2039 menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan. Dengan pertumbuhan penduduk tahunan sebesar 0,44%, jumlah penduduk pada tahun 2039 diperkirakan mencapai 6512 jiwa. Peningkatan jumlah penduduk ini menjadi faktor utama yang mempengaruhi perencanaan distribusi air bersih di desa tersebut.

3.2. Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

Proyeksi kebutuhan air bersih di Desa Karangluhur dihitung mulai dari tahun perencanaan 2023 hingga 15 tahun ke depan hingga tahun 2035. Perhitungan ini dimulai dengan data jumlah penduduk, yaitu 6092 jiwa pada tahun 2023, yang diproyeksikan meningkat menjadi 6512 jiwa pada tahun 2035 dengan pertumbuhan 2,00% per tahun. Jumlah sambungan air dihitung berdasarkan asumsi 1 sambungan untuk setiap 5 jiwa penduduk, sehingga jumlahnya meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Pemakaian air domestik ditetapkan 80 liter/orang/hari atau 400 liter/sambungan/hari, yang menghasilkan peningkatan kebutuhan air domestik dari 5,64 L/dt menjadi 6,03 L/dt.

Kebutuhan air non-domestik juga diperhitungkan sebesar 5% dari kebutuhan domestik, berkisar antara 0,28 L/dt hingga 0,30 L/dt. Total kebutuhan air, yaitu gabungan domestik dan non-domestik, diproyeksikan meningkat dari 5,92 L/dt menjadi 6,33 L/dt. Kehilangan air dalam sistem distribusi diasumsikan 15% dari total kebutuhan air. Untuk keperluan desain sistem, dihitung

kebutuhan air rata-rata, kebutuhan harian puncak (dengan faktor 1,10), dan kebutuhan jam puncak (dengan faktor 1,50). Kebutuhan air rata-rata diproyeksikan naik dari 6,81 L/dt menjadi 7,28 L/dt, dan kebutuhan air jam puncak dari 11,24 L/dt menjadi 12,01 L/dt.

Kebutuhan air jam puncak ini menjadi dasar desain kapasitas sistem. Sebagai informasi tambahan, kapasitas umum sistem diperkirakan 20% dari kebutuhan air harian, yang juga mengalami peningkatan dari 129,47 m³/hr menjadi 138,39 m³/hr. Secara keseluruhan, tabel ini menyajikan proyeksi detail kebutuhan air di Desa Karangluhur sebagai dasar perencanaan sistem penyediaan air bersih.

3.3. Debit Rencana dan Debit Rata-rata

Debit rencana dalam sistem distribusi air bersih Desa Karangluhur ditentukan berdasarkan jumlah penduduk yang akan dilayani di setiap titik distribusi. Perhitungan debit rencana ini bertujuan untuk memastikan bahwa kebutuhan air pada jam puncak dapat terpenuhi. Debit rencana dihitung dengan

menggunakan proporsi jumlah layanan pada titik tertentu terhadap total jumlah layanan dikalikan dengan kebutuhan air jam puncak tahun ke-15, yaitu 10,92 lt/dt.

Sebagai contoh, debit rencana untuk titik dari broncaptering (BC) ke reservoir 1 (R1) adalah 10,92 lt/dt, karena melayani seluruh penduduk (6512 jiwa dari total 6512 jiwa). Namun, untuk titik-titik distribusi lainnya, debit rencana bervariasi tergantung pada jumlah penduduk yang dilayani. Misalnya, titik dari R1 ke BAK A memiliki debit rencana 0,61 lt/dt, sedangkan titik R1 ke BAK B memiliki debit rencana 1,16 lt/dt.

Tabel 1. menyajikan detail debit rata-rata pada tiap titik rencana, yang menunjukkan bagaimana air didistribusikan ke berbagai wilayah di Desa Karangluhur. Dengan adanya perhitungan debit rencana yang disesuaikan dengan jumlah penduduk yang dilayani, diharapkan sistem distribusi air bersih dapat memberikan pelayanan yang optimal dan merata ke seluruh masyarakat.

Tabel 1. Debit Rata-rata pada Tiap Titik Rencana

No	Node				Jumlah layanan <i>jiwa</i>	Total jumlah layanan <i>Jiwa</i>	Keb.air jam puncak th 15 <i>lt/dt</i>	Debit rata-rata <i>lt/dt</i>
	Dari		Ke					
	<i>Titik</i>	<i>Elevasi</i>	<i>Titik</i>	<i>Elevasi</i>				
	1	2	3	4	7	8	9	10
1	BC	1066	R1	983	6512	6512	10,92	10,92
2	R1	983	BAK A	967	366	6512	10,92	0,61
3	R1	983	BAK B	930	691	6512	10,92	1,16
4	BAK B	930	BAK B1	912	329	6512	10,92	0,55
5	BAK B	930	BAK B2	907	361	6512	10,92	0,61
6	BAK B	930	BAK B3	895	447	6512	10,92	0,75
7	R1	983	BAK C	877	834	6512	10,92	1,40
8	BAK C	877	BAK C1	850	461	6512	10,92	0,77
9	BAK C	877	BAK C2	851	373	6512	10,92	0,63
10	R1	983	BAK D	930	1042	6512	10,92	1,75
11	BAK D	930	BAK D1	884	342	6512	10,92	0,57
12	BAK D	930	BAK D2	886	358	6512	10,92	0,60
13	BAK D	930	BAK D3	889	342	6512	10,92	0,57

3.4. Estimasi Kebutuhan Air dan Rencana Distribusi

Perencanaan sistem distribusi air dimulai dengan menghitung kebutuhan dasar masyarakat. Berdasarkan jumlah penduduk sebanyak 6.512 jiwa dan asumsi penggunaan air sebesar 80 liter per orang per hari, diperoleh kebutuhan air domestik sebesar 6,03 liter per

detik (lt/dt). Ditambah kebutuhan non-domestik sebesar 0,30 lt/dt (5% dari kebutuhan domestik), total kebutuhan air menjadi 6,33 lt/dt.

Untuk menjamin kontinuitas layanan dan mengantisipasi fluktuasi konsumsi, kebutuhan rata-rata air dinaikkan 15%, sehingga menjadi 7,28 lt/dt. Pada kondisi beban maksimum, debit harian puncak ditetapkan sebesar 8,01 lt/dt, dan

debit jam puncak mencapai 10,92 lt/dt. Selanjutnya, kebutuhan air baku yang perlu disediakan dari sumber air dihitung sebesar 21,84 lt/dt, yakni tiga kali kebutuhan rata-rata.

Distribusi air dirancang mengikuti kontur medan dengan kemiringan sebesar 7%, dihitung dari selisih elevasi antara titik broncaptering (1.066 mdpl) dan reservoir (983 mdpl) sepanjang jalur pipa 1.276,01 meter. Kemiringan ini cukup untuk memungkinkan aliran secara gravitasi tanpa bantuan pompa.

3.5. Evaluasi Teknis Hidraulik Sistem

Untuk mengalirkan debit maksimum (10,92 lt/dt) secara efisien, digunakan pipa dengan diameter 0,102 meter (sekitar 4 inch). Dengan diameter ini, kecepatan aliran air tercatat sebesar 1,35 meter per detik (m/s), berada dalam batas aman sesuai standar hidraulik dan cukup untuk mencegah terjadinya sedimentasi di dalam pipa.

Kehilangan energi akibat gesekan sepanjang pipa dihitung menggunakan pendekatan Hazen-Williams, dan diperoleh nilai sebesar 30,85 meter kolom air (Mka). Nilai ini mencerminkan jumlah tekanan yang hilang selama air mengalir dari broncaptering menuju titik layanan akhir.

Setelah dikurangi kehilangan energi tersebut, dan dibandingkan dengan elevasi bak penampung (938 mdpl), sisa tekanan pada sistem masih sebesar 50,2 Mka. Ini menunjukkan bahwa sistem distribusi masih memiliki tekanan positif yang cukup, dan air dapat mencapai titik layanan dengan baik tanpa bantuan pompa mekanis.

Dari hasil evaluasi ditunjukkan bahwa tekanan tertinggi tercatat di Reservoir 1 sebesar 52,2 Mka. Tekanan terendah terdapat di Bak G1 sebesar 4,9 Mka. Kecepatan rata-rata aliran air dalam sistem adalah 0,77 m/s, dengan kecepatan tertinggi 1,73 m/s pada pipa dari Reservoir ke Bak F, dan terendah 0,45 m/s pada jalur dari Bak E ke Bak E1.

Secara keseluruhan, hasil pradesain menunjukkan bahwa sistem distribusi telah memenuhi standar kebutuhan air dan kriteria teknis, baik dari sisi kapasitas, tekanan, maupun kecepatan aliran.

3.6. Jaringan Perpipa

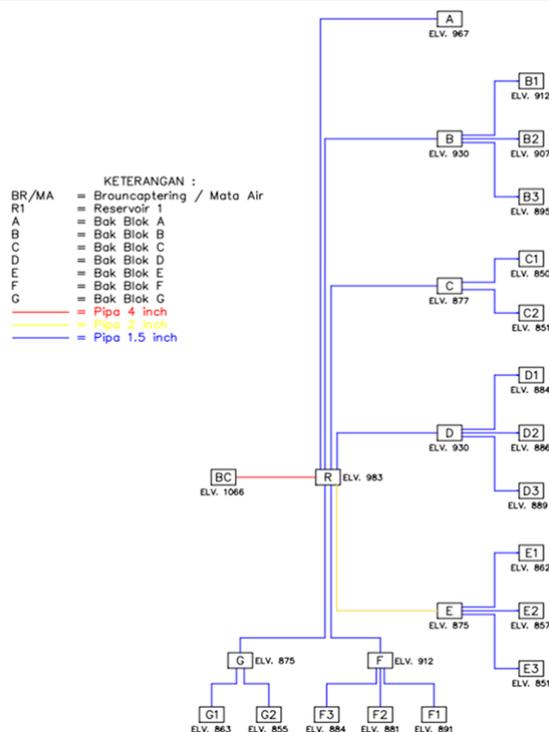
Diagram sistem jaringan distribusi air bersih menggambarkan aliran air dari sumber mata air (broncaptering) menuju titik-titik pelayanan

melalui satu jalur utama dan beberapa percabangan. Titik awal jaringan berada pada broncaptering (BC) dengan elevasi 1.066 meter di atas permukaan laut (mdpl), kemudian dialirkan menuju reservoir (R) di elevasi 983 mdpl. Jalur utama menggunakan pipa berdiameter 4 inci, yang direpresentasikan dengan garis merah, dan dirancang untuk menampung debit maksimum pada jam puncak.

Dari reservoir, distribusi air dilakukan ke tujuh blok pelayanan (A hingga G), masing-masing terdiri atas satu atau beberapa sub-blok, tergantung pada sebaran pengguna. Jalur distribusi sekunder menggunakan pipa berdiameter 2 inci (digambarkan dengan garis kuning) dan 1,5 inci (garis biru), yang ditentukan berdasarkan kebutuhan debit, jarak distribusi, dan kondisi topografis.

Blok A dan B terletak pada elevasi yang lebih tinggi, yakni 967 mdpl dan 930 mdpl, namun tetap berada dalam jangkauan tekanan positif. Blok C dan D melayani wilayah dengan lebih banyak percabangan, sementara blok E, F, dan G terletak di bagian hilir, melayani wilayah dengan elevasi yang lebih rendah (sekitar 851–891 mdpl). Keseluruhan sistem didesain untuk memanfaatkan gaya gravitasi secara optimal, dengan mempertimbangkan perbedaan elevasi dan dimensi pipa, guna menjamin tekanan distribusi yang memadai di seluruh titik pelayanan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Skema Jaringan Perpipa



4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

1. Rasio pertumbuhan penduduk Desa Karangluhur adalah sebesar 0,44% kemudian didapatkan jumlah penduduk Desa Karangluhur di Dusun Krakal, Dusun Kliwonan, Dusun Marong dan Dusun Gosono yang pada tahun 2024 berjumlah 6092 penduduk dan proyeksi pertumbuhan penduduk untuk 15 tahun kedepan yaitu pada tahun 2039 adalah sejumlah 6512 penduduk.
2. Debit rencana yang disalurkan ke Dusun Krakal, Dusun Kliwonan, Dusun Marong dan Dusun Gosono sebesar 12,01 lt/detik lebih kecil dari 22,38 lt/detik. (debit mata air) dan mampu memenuhi kebutuhan air bersih sampai tahun 2039.
3. Perencanaan jaringan pipa distribusi tersebut menggunakan pipa jenis PVC dengan besarnya diameter disesuaikan dengan kebutuhan aliran debit.
4. Perencanaan jaringan air bersih ini sangat membantu masyarakat di Dusun Krakal, Dusun Kliwonan, Dusun Marong dan Dusun Gosono yang sebelumnya belum mendapatkan air secara maksimal/merata.

4.2. Saran

1. Dilakukan pemantauan berkala terhadap debit mata air untuk mengantisipasi

penurunan kapasitas akibat perubahan lingkungan atau musim kemarau.

2. Pipa PVC yang digunakan perlu dipastikan sesuai standar ketahanan terhadap tekanan operasional dan kondisi lapangan.
3. Perlu pelibatan masyarakat dalam pengelolaan dan pemeliharaan sistem agar distribusi air berjalan merata dan berkelanjutan.
4. Sistem jaringan air bersih sebaiknya diintegrasikan dengan rencana pembangunan desa jangka panjang untuk menjamin kontinuitas pelayanan air bersih.
5. Pemerintah desa disarankan menjadikan sistem ini sebagai program prioritas, serta mempertimbangkan pengembangan unit cadangan dan sistem monitoring.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Faqih, N. (2020) 'Civil Engineering Environmental and Disaster Risk Management Symposium (CEE DRiMS 2020) Penguatan Riset dan Teknologi untuk Mewujudkan Infrastruktur yang Cerdas , Lestari , dan Tangguh', *Civil Engineering, Environmental and Disaster Risk Management Symposium 2020*, pp. 118–221.
- Faqih, N. et al. (2023) 'Perencanaan Jaringan Distribusi Air Bersih Desa Kalikarung Kalibawang Wonosobo', *Device: Desain, Riset, dan Teknologi Sipil*, 14(2), pp. 150–156.
- Faqih, N. and Budiyuwono, A. (2022) 'Analisa Tarif Setting Pada Perencanaan Jaringan Air Bersih', *Journal of Economic, Management, Accounting and Technology*, 5(2), pp. 225–231.
- Karya, C. (2007). (2007) 'Petunjuk Teknis Pelaksanaan Prasarana Air Minum Sederhana', p. 2007. Available at: http://ciptakarya.pu.go.id/dok/hukum/pedoman/juknis_pelaksanaan_prasarana_air_minum_sederhana.pdf.
- Naila, M. (2023) *Perencanaan Jaringan Distribusi Air Bersih Desa Pagerejo, Kretek, Wonsobo*. Universitas Sains Al-Qur'an Wonosobo.
- Sibyan, H. et al. (2022) 'Thermal comfort prediction accuracy with machine learning between Regression Analysis and Naïve Bayes Classifier', *Sustainability*, 14(23),

p. 15663.

- Sudarmadji *et al.* (2019) 'Water quality and sustainability of Merdada Lake, Dieng, Indonesia', *E3S Web of ...*, 76, p. 02003..
- Suyono (1993) *Suyono. Pengelolaan Sumber Daya Air*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Triatmojo, B. (1999) *Hidraulika II*. Jakarta: Erlangga.
- Vinten, A.J.A. *et al.* (2014) 'Assessment of the use of sediment fences for control of erosion and sediment phosphorus loss after potato harvesting on sloping land', *Science of the Total Environment*, 468–469, pp. 93–103.