

PERENCANAAN PENYEDIAAN AIR MINUM BERBASIS MASYARAKAT DI DUSUN TOMUAN PANE, KABUPATEN SIMALUNGUN, SUMATERA UTARA

**Ida Bagus Made Baskara Andika^{*}, Kristina Marta Nainggolan, dan Sagung Putri
Chandra Astiti**

Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia

^{}Email: ibmbaskara@unud.ac.id*

ABSTRAK

Dusun Tomuan Pane di Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara, menghadapi permasalahan dalam penyediaan air minum karena belum tersedianya jaringan distribusi ke rumah warga. Selain itu, hasil uji kualitas air menunjukkan adanya kontaminasi fosfat dan *total coliform* yang melebihi baku mutu berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023. Kontaminasi ini disebabkan oleh lahan pertanian yang berada dekat dengan sumber air dan infrastruktur lingkungan yang tidak terpelihara. Penelitian ini bertujuan untuk merancang Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat (PAMBM) melalui perencanaan sistem jaringan distribusi dan pengolahan air minum sederhana. Proyeksi kebutuhan air dilakukan melalui perhitungan pertumbuhan penduduk dengan tiga pendekatan: aritmatik, geometrik, dan *least square*. Perencanaan jaringan distribusi dilakukan menggunakan simulasi hidraulik melalui perangkat lunak EPANET 2.2, sedangkan sistem pengolahan air menggunakan sistem filtrasi sederhana yang disesuaikan dengan kondisi lokal. Proyeksi penduduk menunjukkan bahwa kebutuhan air minum masyarakat pada tahun 2040 mencapai 0,88 L/detik. Sistem pengolahan air dirancang dalam dua tahap filtrasi: reaktor *downflow* setinggi 1,2 m menggunakan media: zeolit 67%, pasir 8%, karbon aktif 8%, dan reaktor *upflow* setinggi 2 m dengan media: zeolit 21%, kerikil 21%, karbon aktif 27%, dan pasir 21%. Hasil menunjukkan bahwa sistem kombinasi tersebut mampu menurunkan kandungan fosfat sebesar 49,39% dan *total coliform* sebesar 100%. Simulasi jaringan distribusi menghasilkan kecepatan aliran rata-rata 0,71 m/detik, dengan penggunaan pipa transmisi berdiameter 5 cm dan pipa induk berdiameter 4 cm.

Kata kunci: *Air Minum, SPAM, Jaringan Distribusi, Pengolahan Air Minum, PAMBM*

COMMUNITY-BASED DRINKING WATER SUPPLY PLANNING IN TOMUAN PANE, SIMALUNGUN REGENCY, NORTH SUMATRA

ABSTRACT

Tomuan Pane Hamlet in Simalungun Regency, North Sumatra, faces critical challenges in drinking water provision due to the absence of a household water distribution network. Additionally, water quality tests revealed phosphate and total coliform contamination levels exceeding the drinking water standards set by the Indonesian Ministry of Health Regulation No. 2 of 2023. The contamination is attributed to nearby agricultural activities and poorly maintained environmental infrastructure. This study aims to design a simple, community-based water distribution and treatment system (*Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat: PAMBM*). Water demand projections were calculated using three population growth methods: arithmetic, geometric, and least square approaches. The distribution network was simulated using EPANET 2.2 software. The water treatment system was designed utilizing simple filtration tailored to local conditions. Population projections indicate that water demand in 2040 will reach 0.88 L/s. The proposed treatment system consists of two filtration stages: a 1.2-meter downflow reactor of 67% zeolite, 8% sand, 8% activated carbon media, and a 2-meter upflow reactor of 21% zeolite, 21% gravel, 27% activated carbon, and 21% sand media. The combined system effectively reduced phosphate concentrations by 49.39% and completely eliminated total coliforms (100% removal). The distribution network simulation produced an average flow velocity of 0.71 m/s using a 5 cm transmission pipe and a 4 cm main distribution pipe.

Keywords: *Drinking Water, Water Supply System (SPAM), Water Distribution; Water Treatment; PAMBM*

1 PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk, namun keterbatasan sumber air menimbulkan masalah kesehatan di beberapa daerah (Sutrisman et al., 2023). Akses air bersih yang adil merupakan hak asasi manusia dan berpengaruh pada standar hidup masyarakat (Djana, 2023). Di tingkat kabupaten di Indonesia, rata-rata akses air bersih baru mencapai 49% (Oktafia et al., 2023). Dusun Tomuan Pane merupakan dusun yang berada di Kabupaten Simalungun, dengan jumlah penduduk sekitar 148 jiwa. Sampai saat ini, dusun tersebut belum terjangkau oleh jaringan air PDAM akibat kondisi geografis yang didominasi topografi curam dan berbukit. Kondisi ini menyulitkan pembangunan infrastruktur jaringan air karena memerlukan biaya konstruksi yang tinggi serta teknologi khusus untuk menjaga kestabilan tekanan dan kontinuitas aliran air. Dalam memenuhi kebutuhan air, masyarakat mengandalkan air dari sumber mata air Tomuan Pane yang dialirkan melalui keran umum pada fasilitas mandi, cuci, kakus (MCK) dusun. Namun, keterbatasan jumlah keran dan kapasitas distribusi menyebabkan antrian panjang serta ketidakpastian ketersediaan air, terutama pada musim kemarau. Selain itu, tidak adanya sistem perlindungan sumber air dan pengolahan awal meningkatkan risiko pencemaran, sehingga kualitas air yang dikonsumsi masyarakat menjadi tidak terjamin.

Penelitian lapangan pada tahun 2024, ditemukan bahwa parameter fosfat dan total coliform di Dusun Tomuan Pane melebihi standar baku mutu air minum berdasarkan Permenkes No.2 Tahun 2023. Kadar Fosfat pada keran umum sebesar 0.5 mg/L dan pada mata air sebesar 0.49 mg/L. Jumlah total coliform ditemukan sebesar 85 CFU/100 mL pada keran umum dan sebesar 20 CFU/100 mL di mata air. Kontaminasi parameter fosfat terindikasi berasal dari aktivitas pertanian yang menggunakan pestisida dan pupuk kimia yang dapat meresap ke dalam tanah. Ketika hujan, bahan kimia ini dapat terbawa aliran air menuju sumber mata air, menyebabkan pencemaran (Madjar et al., 2024). Penempatan keran umum di sekitar area toilet umum juga dapat mempengaruhi kualitas air karena rentan terhadap kontaminasi mikroorganisme berbahaya, seperti bakteri total coliform yang sering berkembang biak di lingkungan toilet yang tidak bersih dan terpapar kotoran manusia (Johnson et al., 2017). Elevasi lokasi keran umum yang berada di bawah pemukiman warga dengan jalur yang curam menyebabkan permasalahan saat pengambilan air di musim penghujan yang membuat kondisi jalan menjadi licin. Debit mata air yang rendah pada musim kemarau terkadang mengakibatkan air tidak dapat mencapai keran umum, sehingga warga harus berjalan lebih jauh lagi untuk mengambil air langsung ke sumber mata air.

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan penyediaan air minum berbasis masyarakat yang mencakup rancangan jaringan distribusi ke sambungan rumah di Dusun Tomuan Pane menggunakan sistem pengolahan sederhana. Metode yang direncanakan dalam proses pengolahan air adalah filtrasi. Filtrasi merupakan metode pengolahan air yang efektif dalam menghilangkan partikel koloid di dalam air, sehingga meningkatkan kualitas air, membuatnya lebih jernih, dan layak untuk dikonsumsi. Media filter berfungsi untuk menghilangkan polutan dalam air sehingga menghasilkan air yang bersih dan aman bagi masyarakat (Faradila et al., 2023). Setelah melalui proses pengolahan, air bersih yang dihasilkan akan didistribusikan melalui sistem distribusi air yang dirancang untuk menjamin pasokan air yang cukup dan berkualitas guna memenuhi kebutuhan di berbagai area (Awe et al., 2019). Berdasarkan hasil observasi awal, debit air pada keran umum adalah sebesar 1.09 L/detik. Melalui perencanaan ini, diharapkan kebutuhan air minum masyarakat di Dusun Tomuan Pane dapat terpenuhi dari segi kuantitas dan kualitas secara berkelanjutan.

2 PENYEDIAAN AIR MINUM

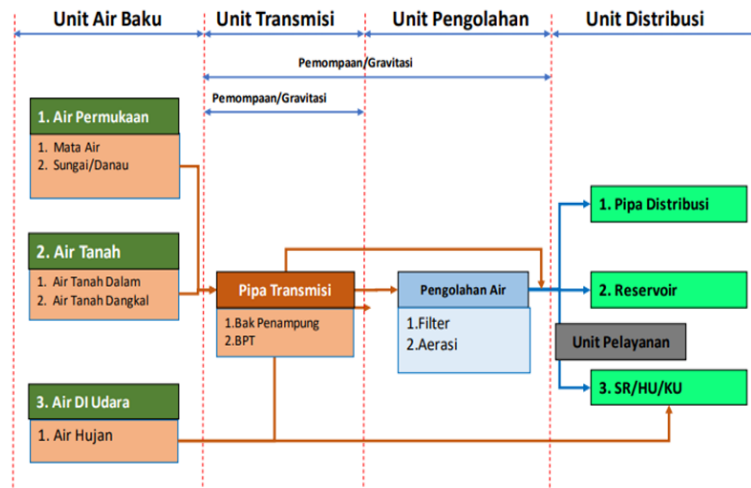
2.1 Air Minum

Kualitas air minum yang digunakan sehari-hari harus sudah sesuai dengan persyaratan standar baku mutu air minum. Kuantitas air pada umumnya dipengaruhi oleh lingkungan fisik daerahnya, seperti curah hujan, topografi dan jenis batuan, sedangkan untuk kualitas air sangat dipengaruhi oleh lingkungan sosial seperti kepadatan penduduk dan kepadatan sosial (Pentury, 2022). Air minum digunakan untuk keperluan minum, memasak, mencuci peralatan makan dan minum, mandi, mencuci bahan baku pangan yang akan dikonsumsi, peturasan dan ibadah. Persyaratan air minum harus baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Air yang sudah memenuhi persyaratan kuantitas merupakan air yang dapat mencukupi seluruh kebutuhan manusia baik digunakan untuk air minum maupun keperluan rumah tangga. Pengolahan, pewadahan, dan penyajian untuk air minum harus memenuhi prinsip hygiene dan sanitasi. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, persyaratan kualitas Air Minum tidak mengandung unsur mikrobiologi, fisika, kimia, dan radioaktif.

2.2 Sistem Penyediaan Air Minum

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) adalah pengelolaan air minum yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air minum masyarakat. Proses pengelolaan ini melibatkan pengelolaan sumber air baku yang memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Air yang telah melalui proses pengolahan kemudian disalurkan ke masyarakat untuk memenuhi kebutuhan air minum. SPAM memainkan peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan air minum masyarakat, baik di musim kemarau maupun penghujan (Anti et al., 2022). Menurut Peraturan

Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 Tentang Sistem Penyediaan Air Minum, Sistem Penyediaan Air Minum adalah kegiatan menyediakan Air Minum untuk memenuhi kebutuhan masyarakat agar mendapatkan kehidupan yang sehat, bersih, dan produktif. Dalam menunjang sistem penyediaan air minum, terdapat aspek yang harus diperhatikan yaitu aspek teknis dan non teknis (Permen PUPR No. 4 Tahun 2020). Aspek non teknis meliputi keuangan, sosial dan institusi, sedangkan aspek teknis meliputi unit air baku, unit produksi, unit distribusi, unit pelayanan, dan unit pengelolaan.



Gambar 1. Skematik Sistem Penyediaan Air Minum
Sumber: Peraturan Pemerintah 122/2015

2.3 Analisis Kebutuhan Air Minum

Kebutuhan masyarakat akan air sangat beragam, tergantung pada kondisi alam, standar kehidupan masyarakat dan kebiasaan masyarakat setempat. Sulit menentukan jumlah penggunaan air di suatu daerah karena banyak faktor yang mempengaruhi. Pendekatan yang bisa dilakukan adalah menghitung rata-rata pemakaian air per orang per hari, memperkirakan jumlah penduduk pada periode tertentu, dan mempertimbangkan umur rencana konstruksi (Saputra, 2021). Hasil perhitungan kebutuhan air mempengaruhi kualitas perencanaan, sehingga dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, estimasi kebutuhan air minum menjadi lebih akurat. Hasil ini digunakan sebagai dasar untuk merencanakan dan mengembangkan sistem distribusi air minum (Pahude, 2022). Hasil yang akan diperoleh dari analisis kebutuhan air meliputi kebutuhan air sambungan rumah (SR), kebutuhan domestik, kebutuhan non domestik, kebutuhan total, jumlah kehilangan air, kebutuhan harian rata-rata, kebutuhan hari maksimum, dan kebutuhan jam puncak.

a. Kebutuhan Air Sambungan Rumah (SR)

Nilai dari kebutuhan air SR dipengaruhi oleh jumlah penduduk terlayani serta konsumsi air rumah tangga di Dusun Tomuan Pane, dimana pada proyeksi ini konsumsi air rumah tangga sebesar 120 L/jiwa/hari (Badan Standar Nasional, 2002).

b. Kebutuhan Domestik

Kebutuhan air domestik sangat dipengaruhi oleh jumlah penduduk dan konsumsi per kapita. Seringkali, populasi dan sejarah populasi digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan air domestik, terutama dalam menentukan kecenderungan laju pertumbuhan penduduk.

c. Kebutuhan Non Domestik

Nilai kebutuhan domestik adalah 20% dari nilai kebutuhan non domestik (Manshuri et al., 2015).

d. Kebutuhan Total

Nilai dari kebutuhan air total adalah nilai dari menjumlahkan kebutuhan air domestik dan kebutuhan air non domestik (Manshuri et al., 2015).

e. Jumlah Kehilangan Air

Nilai kehilangan air pada desa dengan jumlah penduduk <20.000 jiwa sebesar 20%.

f. Kebutuhan Harian Rata-Rata (Q_{hr})

Nilai pemakaian kebutuhan air rata rata dapat diperoleh dengan menjumlahkan kebutuhan air total dan jumlah kehilangan air (Manshuri et al., 2015).

g. Kebutuhan Harian Maksimum (Q_{hm})

Besaran kebutuhan maksimum tergantung pada faktor hari maksimum (F_{hm}) yang nilainya berada pada rentang 1,15 – 1,25 (Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya PU, 1996). Pada penelitian ini memakai kebutuhan harian maksimum 1,15 karena jumlah penduduk tidak banyak dan sedikit kegiatan khusus.

h. Kebutuhan Jam Puncak (Qjp)

Pemakaian air terbesar dalam 1 jam pada rentang 1 hari. Hal ini dapat terjadi karena adanya pemakaian serentak dalam satu waktu. Qjp juga tergantung dari faktor jam puncak (Fjp) yang berada pada 1,75 (Yahya, 2020).

2.4 Perangkat Lunak EPANET 2.2

EPANET 2.0 adalah paket program komputer yang dibuat oleh U.S Environmental Protection Agency. Program ini dapat mengidentifikasi aliran atau debit tiap-tiap pipa, tekanan pada tiap-tiap titik simpul (*node*), ketinggian air pada tandon, dan perubahan konsentrasi senyawa kimia yang ditambahkan pada jaringan dalam sebuah distribusi selama periode simulasi (Rossman, 2000).

2.5 Sistem Pengolahan Air

Pengolahan air bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi kontaminan. Kontaminan tersebut dapat berupa senyawa organik yang diukur melalui nilai BOD dan COD, nutrisi, senyawa beracun, mikroorganisme patogen, serta partikel non-biodegradable, baik dalam bentuk padatan tersuspensi maupun terlarut (Adriati, 2021). Filtrasi adalah metode pengolahan limbah yang berfungsi untuk memisahkan zat padat dari fluida yang mengandungnya, dengan menggunakan medium berpori. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat yang tersuspensi dan koloid, serta kontaminan lainnya. Tujuan utama dari filtrasi adalah untuk menyaring partikel-partikel tersuspensi dan koloid melalui media filter. Selain itu, filtrasi juga efektif dalam menghilangkan bakteri serta membantu mengurangi warna, rasa, bau, serta kandungan besi dan mangan dalam air (Ratnawati and Kholif, 2018). Secara umum Filtrasi adalah proses yang digunakan dalam pengolahan air minum untuk memisahkan bahan pengotor (partikulat) yang terdapat dalam air. Dalam proses ini, air merembes dan melewati media filter, sehingga partikel-partikel akan terakumulasi di permukaan filter dan sepanjang kedalaman media yang dilaluinya (Asiah, 2023). Filter memiliki kemampuan untuk memisahkan partikel dari berbagai ukuran, termasuk alga, virus, asbestos, dan koloid tanah. Proses filtrasi terjadi dengan cara melewatkan air baku melalui media berpori tertentu (Pudjawan, 2024).

- Sistem Filtrasi *Downflow*

Sistem filtrasi *downflow* mengolah air dengan mengalirkannya dari atas ke bawah melalui filter pasir lambat. Sistem ini terdiri dari beberapa unit, termasuk bak penampung air baku yang terbuat dari beton, ferosemen, atau material serupa. Bak penampung dilengkapi dengan *inlet* yang dirancang untuk mencegah kerusakan lapisan pasir, *outlet* untuk mengeluarkan air hasil filtrasi dan mengontrol ketinggian air, serta saluran bawah dan peralatan kontrol (Adriati, 2021).

- Sistem Filtrasi *Upflow*

Sistem filtrasi *upflow* adalah metode pengolahan air yang mengalirkan air dari bawah ke atas melalui media penyaring. Untuk mencapai hasil filtrasi yang optimal dan memenuhi standar mutu, desain filtrasi *upflow* perlu mempertimbangkan kombinasi ketebalan media yang berbeda (Imam Asari et al., 2024). Dibandingkan dengan filtrasi *downflow*, filtrasi *upflow* memiliki keunggulan karena dapat mengurangi masalah penyumbatan media yang disebabkan oleh tingginya tingkat kekeruhan air baku. Sistem ini juga menawarkan kemudahan dalam pencucian media; cukup dengan membuka kran penguras untuk mengalirkan hasil olahan yang lebih bersih. Secara struktural, filtrasi *upflow* memiliki kemiripan dengan *downflow*, meliputi inlet, lapisan air di bawah media, media pasir, dan outlet, perbedaan signifikan hanya pada arah aliran air (Artiyani and Firmansyah, 2016).

- Media filtrasi

Faktor penentu pemilihan media filtrasi adalah media dengan luas permukaan yang besar dibandingkan dengan volume bak filtrasi, harga yang terjangkau, daya tahan yang baik, dan tidak mudah tersumbat. Umumnya, material yang digunakan terdiri dari batu granit, pecahan batuan/pasir, atau butiran mineral.

- a) Pasir Vulkanik

Pasir vulkanik berasal dari pelapukan batuan vulkanik. Sifat porous dari pasir vulkanik memberikan sejumlah keunggulan dalam proses pengolahan air. Luas permukaan yang tinggi memungkinkan lebih banyak mikroba tertahan dan membentuk biofilm yang membantu proses filtrasi. Ketersediaannya yang melimpah, harga yang terjangkau, dan sifat porous menjadikan pasir vulkanik pilihan yang baik untuk pengolahan air minum, terutama dalam sistem sederhana. Efektivitas filtrasi dengan pasir vulkanik sangat ditentukan oleh jenis dan karakteristik media yang digunakan.

- b) Pasir Silika

Pasir kuarsa atau silika merupakan material yang berasal dari proses pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan feldspar. Material ini memiliki aplikasi penting dalam perbaikan kualitas fisik air, terutama dalam mengurangi tingkat kekeruhan dan menghilangkan bau yang tidak diinginkan. Secara umum, pasir silika dimanfaatkan pada tahap awal proses filtrasi untuk mengolah air kotor menjadi air yang lebih bersih (Artiyani and Firmansyah, 2016).

c) Arang Aktif

Senyawa ini diproduksi dari material yang kaya akan karbon melalui proses khusus yang bertujuan untuk meningkatkan luas permukaannya secara signifikan (Hartinie, 2015). Tempurung kelapa dapat menjadi bahan pembuatan arang aktif karena kemampuannya untuk menyerap anion, kation, molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik di dalam air (Salim et al., 2018). Metode aktivasi fisika menggunakan temperatur tinggi memiliki daya serap lebih tinggi dibanding aktivasi menggunakan bahan kimia (Aryani, 2019). Hal ini memungkinkannya untuk mengadsorpsi senyawa organik yang menyebabkan bau tidak sedap, warna, rasa, serta senyawa yang tidak dapat terdegradasi secara biologis. Selain itu, arang aktif terjangkau, mudah digunakan, dan membantu menjernihkan air.

d) Zeolit

Zeolit merupakan mineral yang terbentuk melalui proses hidrotermal pada batuan beku basa, memiliki karakteristik mampu melakukan adsorpsi, pertukaran ion, serta berperan sebagai katalis. Kapasitas zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul didukung oleh struktur internalnya yang berongga, sehingga memungkinkan penyerapan molekul dengan ukuran tertentu. Kristal zeolit yang telah mengalami proses dehidrasi menunjukkan peningkatan selektivitas dan efektivitas dalam adsorpsi (Artiyani & Firmansyah, 2016).

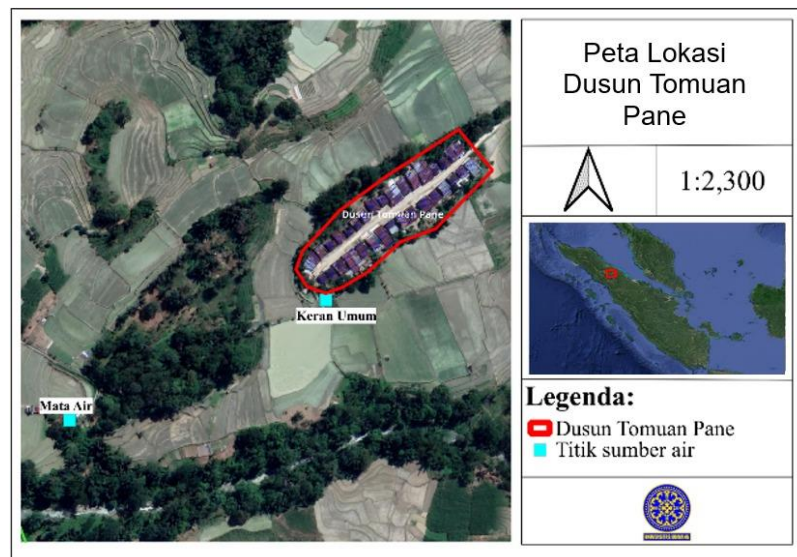
e) Kerikil

Kerikil adalah batuan kecil yang berasal dari sebuah batu yang berukuran besar, tetapi hancur karena reaksi alam, atau biasa disebut pelapukan yang terjadi karena perubahan suhu alam yang mendadak. Kerikil memiliki fungsi sebagai penyaring partikel kasar yang ada dalam air limbah. Karena ukurannya lebih besar dari pada pasir, fungsi kerikil pada filter adalah sebagai celah atau ruang kosong agar air dapat mengalir melalui lubang bawah (Pinem, 2019).

3 METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu analisis proyeksi kebutuhan air 15 tahun ke depan, diikuti dengan perancangan sistem pengolahan air minum, dan perencanaan jaringan distribusi yang sesuai. Proyeksi kebutuhan air dilakukan berdasarkan data penduduk tahun 2025 dengan menggunakan salah satu dari tiga metode pertumbuhan, yaitu aritmatik, geometrik, dan *least square*, yang dipilih berdasarkan nilai koefisien korelasi dan standar deviasi. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung untuk debit sumber mata air, wawancara dengan masyarakat setempat mengenai pola konsumsi air, serta uji kualitas air di laboratorium untuk parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi.

Sistem pengolahan air dirancang berdasarkan studi literatur, menggunakan metode filtrasi kombinasi dengan dua unit reaktor, yaitu *downflow* dan *upflow*. Media yang digunakan terdiri atas zeolit, pasir, karbon aktif, dan kerikil. Perencanaan jaringan distribusi dilakukan melalui analisis hidraulik dan simulasi menggunakan perangkat lunak EPANET 2.2, yang digunakan untuk mengevaluasi parameter teknis seperti tekanan, kecepatan aliran, dan dimensi pipa yang optimal. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Dusun Tomuan Pane

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan Air

Analisis kebutuhan air minum dilakukan untuk memperkirakan kebutuhan air penduduk di Dusun Tomuan Pane yang harus dipenuhi pada tahun 2040. Metode terpilih yang digunakan untuk proyeksi penduduk adalah metode geometrik karena memiliki nilai Standar Deviasi terkecil sebesar 6,51 dan nilai Koefisien Korelasi (r) paling mendekati 1 sebesar 0,991. Hasil proyeksi jumlah penduduk Dusun Tomuan Pane pada Tahun 2040 adalah sebesar 252 Jiwa. Pengukuran debit air pada keran umum dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada bulan Maret 2025 sebesar 1,09 L/detik (musim penghujan) dan bulan Agustus 2025 sebesar 0,31 L/detik (musim kemarau). Berdasarkan jumlah penduduk dan debit air tersebut, analisis kebutuhan air minum Dusun Tomuan Pane adalah sebesar 0,58 L/orang/hari untuk kebutuhan harian maksimum, dan 0,88 L/orang/hari pada jam puncak (Tabel 1). Kebutuhan air minum ini menjadi dasar perencanaan jaringan distribusi.

Tabel 1. Analisis Kebutuhan Air Minum Dusun Tomuan Pane Tahun 2040

Proyeksi Kebutuhan Air Minum Dusun Tomuan Pane		
Keterangan	Satuan	Tahun Proyeksi 2040
A. Kependudukan		
Jumlah Penduduk	orang	252
Tingkat Pelayanan	%	100%
Penduduk Terlayani	orang	252
B. Kebutuhan Domestik		
SR	L/hari	120
KU	L/Hari	-
Kebutuhan Air SR	L/hari	30200,25
Kebutuhan Air KU	L/hari	-
Kebutuhan Domestik	L/hari	30200,25
C. Kebutuhan Non Domestik		
20% Kebutuhan Domestik	L/hari	6040,05
D. Kebutuhan Air Total		
	L/hari	36240,30
	L/detik	0,419
E. Kehilangan Air		
% Kehilangan Air	%	20%
Jumlah Kehilangan Air	L/detik	0,084
F. Kebutuhan Air Rata-Rata		
Jumlah Kebutuhan Air	L/detik	0,503
G. Kebutuhan Hari Maks		
Faktor Koefisien	-	1,15
Kebutuhan Air	L/detik	0,58
H. Kebutuhan Jam Puncak		
Faktor Koefisien	-	1,75
Kebutuhan Air	L/detik	0,88

4.2 Analisis Pengolahan Air

Sistem filtrasi memiliki keunggulan dalam memisahkan zat padat dari fluida yang mengandungnya, dengan menggunakan medium berpori. Sistem ini cocok digunakan pada pengolahan air sederhana karena tidak memerlukan biaya yang tinggi dan pengaplikasian mudah (Asiah, 2023). Sistem pengolahan air direncanakan

dengan sistem filtrasi kombinasi yaitu filtrasi downflow dan filtrasi upflow. Sistem filtrasi downflow bekerja dengan cara mengalirkan air limbah dari atas ke bawah melalui media penyaring secara gravitasi. Aliran ini memungkinkan partikel dan mikroorganisme seperti total coliform tertahan secara fisik saat melewati media filter, sehingga air yang keluar dari bawah media menjadi lebih bersih. Selain itu, aliran dari atas ke bawah memberikan waktu kontak yang cukup antara air dan media, sehingga proses penyaringan dan penyerapan kontaminan berlangsung lebih efektif. Dengan cara ini, total coliform dapat dihilangkan secara signifikan dalam sistem filtrasi downflow (Sulianto et al., 2019). Sistem filtrasi upflow bekerja dengan cara mengalirkan air limbah dari bawah ke atas melalui media penyaring. Aliran vertikal ini memungkinkan air yang masuk dari bawah naik melewati media secara merata, sehingga partikel dan zat seperti fosfat dapat tersaring dan disisihkan secara efektif. Selain itu, sistem upflow membantu mengurangi penyumbatan media karena kotoran yang tertahan cenderung tidak menghambat aliran, sehingga proses filtrasi berjalan lebih lancar dan hasil olahan lebih bersih. Sistem ini juga memudahkan proses pencucian media dengan membuka kran penguras, sehingga media dapat dibersihkan tanpa membongkar seluruh sistem (Selfia et al., 2022).

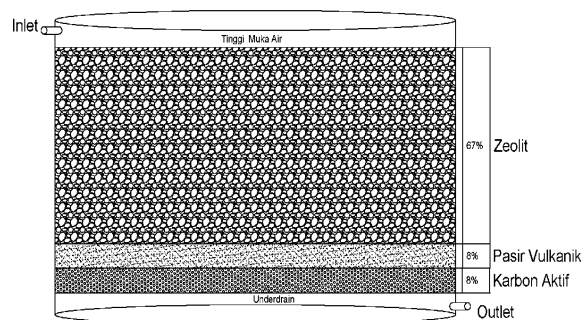
Berdasarkan hasil kajian literatur, terdapat beberapa media filter yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar fosfat yaitu arang aktif, pasir, zeolit, kerikil dan ijuk. Tidak semua media mampu menurunkan kadar fosfat dengan baik, hal ini dipengaruhi oleh ketinggian media dan waktu kontak. Pada penelitian (Selfia et al., 2022) dan (Artiyani and Firmansyah, 2016) memperoleh hasil penyerapan kadar fosfat secara berurutan sebesar 74% dan 64,13% dengan waktu kontak 110 menit. Sedangkan penelitian (Sulianto et al., 2019) dan (Zahro et al., 2023) memperoleh hasil penyerapan kadar fosfat menurun di waktu tersingkat yaitu 31,04% dan 16,35% dengan waktu kontak 60 menit. Sedangkan untuk menurunkan kadar total coliform media filter yang digunakan yaitu pasir, kerikil, karbon aktif, ijuk, pecahan batu bata, dan zeolit. (Fairuz, 2022) memperoleh hasil penurunan total coliform terlama yaitu sebesar 100% dengan waktu kontak 18 menit. Sedangkan (Rizan, 2023) sebesar 3,75% dengan waktu kontak 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa selain media, waktu kontak media dan air yang terkontaminasi sangat berpengaruh pada penurunan kadar kontaminan.

Berdasarkan kajian tersebut maka Reaktor 1 dirancang setinggi 1,2 meter menggunakan filtrasi downflow dengan media zeolit, pasir, dan karbon aktif serta waktu kontak 18 menit. Reaktor 2 dirancang setinggi 2 meter menggunakan filtrasi upflow dengan media zeolit, kerikil, karbon aktif, dan pasir, dengan waktu kontak 110 menit, meski kerikil sendiri tidak memiliki daya adsorpsi tinggi seperti zeolit atau karbon aktif, permukaannya yang kasar dapat menjadi tempat tumbuhnya biofilm mikroba. Mikroba ini mengurai senyawa fosfat melalui proses biologis.

Inlet reaktor 1 diperkirakan sebesar 0,88 L/detik dengan waktu kontak 18 menit sehingga jumlah air yang ditampung yaitu 950,4 liter air. Maka volume reaktor yang dirancang yaitu sebagai berikut:

- Volume hitung = 950,4 liter atau 0,95 m³
- Tinggi = 1,2 meter
- Diameter = 2 meter

Reaktor dirancang berbentuk tabung, sehingga diperoleh volume reaktor yang digunakan sebesar 3,76 m³. Media filtrasi disusun berturut-turut: media zeolit 67%, media pasir 8%, media karbon aktif 8% serta tinggi muka air 9% dan *underdrain* 8%. Detail penyusunan lapisan media di Reaktor 1 ditunjukkan pada Gambar 4.

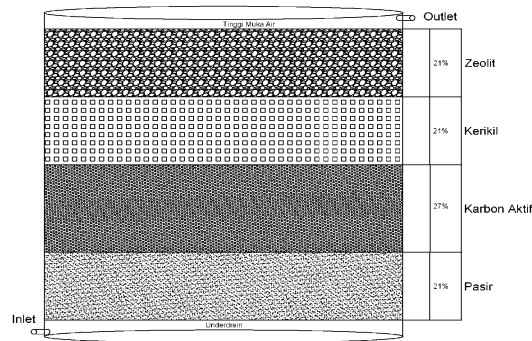


Gambar 3. Media Reaktor 1

Inlet Reaktor 2 diperkirakan sebesar 0,88 L/detik dengan waktu kontak 110 menit sehingga jumlah air yang ditampung yaitu 5808 liter. Detail Reaktor 2 adalah sebagai berikut:

- Volume hitung = 5808 liter atau 5,8 m³
- Tinggi = 2 meter
- Diameter = 2 meter

Reaktor 2 dirancang berbentuk tabung, sehingga diperoleh volume reaktor sebesar $6,28 \text{ m}^3$. Media filtrasi disusun sebagai berikut: media zeolit 21%, media kerikil 21%, media karbon aktif 27%, media pasir 21% serta tinggi muka air 5 % dan underdrain 5%. Detail penyusunan lapisan media di Reaktor 2 disajikan pada Gambar 5.

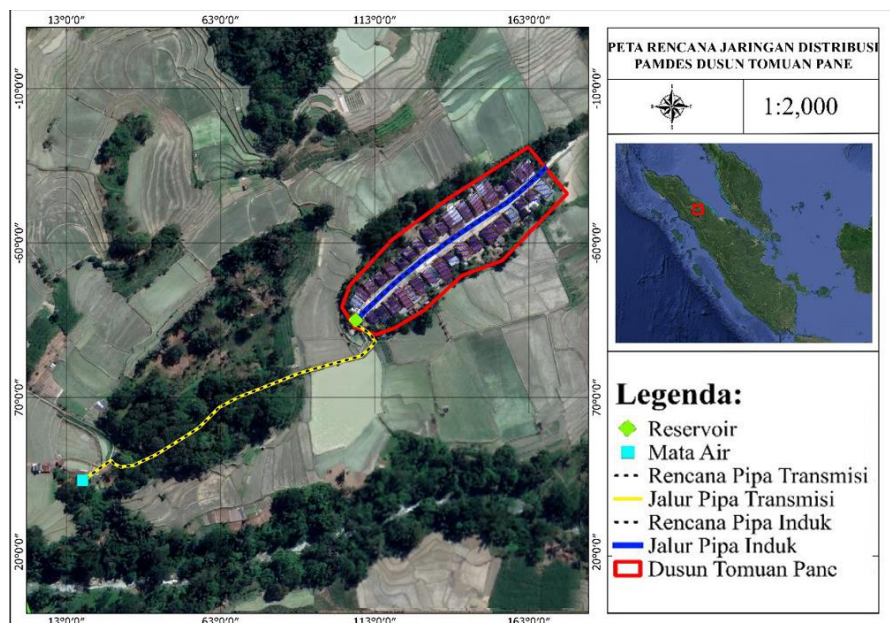


Gambar 4. Media Reaktor 2

4.3 Analisis Hidraulis Jaringan Distribusi

4.4 Profil Hidraulis

Dalam pengembangan jaringan distribusi PAMDes Dusun Tomuan Pane, direncanakan 2 segmen perpipaan yaitu jalur pipa transmisi dan jalur pipa induk (Gambar 6).



Gambar 5. Segmen Perpipaan Dusun Tomuan Pane

- Elevasi jalur pipa transmisi dari mata air ke reservoir

Elevasi permukaan mata air adalah 593 meter dan elevasi permukaan reservoir yaitu 594 m. Direncanakan sebuah reservoir dengan tinggi penyangga 6 m sehingga elevasi reservoir menjadi 600 m. Panjang jalur pipa transmisi yaitu sepanjang 284 m (Gambar 7).



Gambar 6. Elevasi Pipa Transmisi Mata Air – Reservoir

- Elevasi Jalur Pipa Induk dari Reservoir ke Pipa Induk
Elevasi permukaan reservoir 594 m dengan tinggi penyangga reservoir 6 m sehingga elevasi menjadi 600 m dan elevasi daerah pelayanan 591 m yang berarti penurunan elevasi terjadi sebesar 9 m. Panjang jalur pipa transmisi yaitu sepanjang 186 m (Gambar 8).



Gambar 7. Elevasi Pipa Transmisi Reservoir – Pipa Induk

4.4.1 Kapasitas Reservoir

Reservoir perlu direncanakan untuk menampung air pada musim penghujan untuk memenuhi kebutuhan air di Dusun Tomuan Pane selama musim kemarau. Tinggi penyangga untuk reservoir yaitu 6 meter sehingga reservoir dapat mendistribusikan air dengan sistem gravitasi ke rumah masyarakat. Terdapat 2 bak penampung yang akan direncanakan yaitu sebelum dan sesudah pengolahan air dengan kapasitas kedua bak penampung sama. Berdasarkan hasil perhitungan volume reservoir yang didapatkan yaitu 15 m^3 , namun ditentukan volume yang digunakan sebesar (V_{use}) 18 m^3 . Penambahan 20% volume berfungsi agar reservoir dapat menampung air lebih optimal, menjaga kontinuitas pasokan, serta menghindari kekurangan air saat permintaan puncak atau gangguan operasional. Dengan demikian, volume 18 m^3 dipilih sebagai volume efektif dan aman untuk operasional sistem penyediaan air di Dusun Tomuan Pane.

4.4.2 Diameter Pipa

Jenis pipa yang digunakan dalam perencanaan yaitu pipa besi galvanis dengan koefisien Hazen-William sebesar 120. Hasil analisis hidraulika jaringan pemipaan air minum untuk Dusun Tomuan Pane adalah diameter pipa pada segmen keran umum ke reservoir sebesar 5 cm dan diameter pipa pada segmen reservoir ke Dusun Tomuan Pane sebesar 4 cm (Tabel 2).

Tabel 2. Diameter Pipa

No	Segmen Pipa	STA 0	STA 0+1	Beda Tinggi (m)	Panjang (m)	Perbedaan Tekanan (P)	Debit (m^3/dt)	Slope	Kecepatan Pengaliran (m/dt)	Diameter Pipa		
										Hitung (cm)	Digunakan	
										(cm)	(cm)	(mm)
1	Mata Air – Reservoir	593	600	7	284	-7	0,00109	0,025	0,56	4,2	5	50
2	Reservoir – Dusun Tomuan Pane	600	591	9	186	9	0,00109	0,048	0,87	3,7	4	40

4.4.3 Aksesoris Pipa

Berdasarkan kondisi lapangan, penggunaan aksesoris pipa pada perencanaan jaringan distribusi di Dusun Tomuan Pane yaitu sebagai berikut:

1. Rencana pipa dari mata air menuju reservoir
 - Bend 45° : 6 buah
 - Bend 22,5° : 13 buah
2. Rencana pipa dari reservoir menuju Dusun Tomuan Pane
 - Bend 45° : 4 buah
 - Bend 22,5° : 13 buah
 - Gate Valve : 1 buah
 - Air Valve : 1 buah

4.4.4 Kehilangan Energi

a) Kehilangan Energi Mayor

Kehilangan energi mayor disebabkan oleh adanya gesekan antara air dengan permukaan pipa. Hasil pada keran umum menuju reservoir Dusun Tomuan Pane mengalami kehilangan energi mayor sebesar 3,0424 m, sedangkan dari reservoir menuju pipa distribusi mengalami kehilangan energi mayor sebesar 5,901 m.

b) Kehilangan Energi Minor

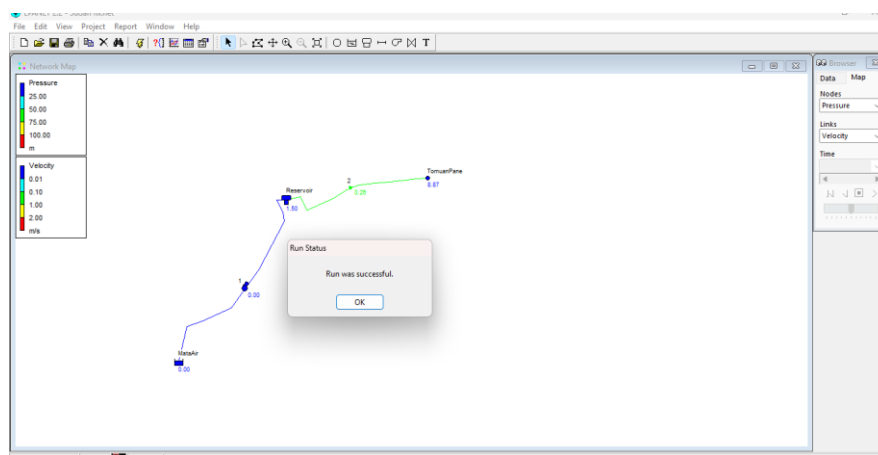
Kehilangan energi minor disebabkan oleh adanya sambungan pipa. Kehilangan energi minor pada keran umum menuju reservoir Dusun Tomuan Pane sebesar 0,05 m dan pada reservoir menuju pipa distribusi sebesar 0,13 m.

4.4.5 Kebutuhan Pompa

Untuk menentukan efektivitas pompa yang digunakan dalam perencanaan PAMDes Tomuan Pane, maka perlu dilakukan perhitungan daya dan head pompa. Head Pompa pada sumber mata air ke reservoir sebesar 9,1024 m, sehingga daya pompa yang dibutuhkan sebesar 0,042 HP.

4.5 Simulasi Jaringan Perangkat Lunak EPANET 2.2

Hasil simulasi jaringan perpipaan menggunakan aplikasi EPANET menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata aliran memenuhi kriteria yaitu sebesar 0,71 m/detik. Pada grafik tekanan di *node* reservoir cenderung konstan sedangkan pada *node* Tomuan Pane mengalami fluktuasi yang nilainya masih memenuhi kriteria. Waktu pengaliran air direncanakan selama 24 jam.



Gambar 8. Hasil Simulasi EPANET

5 KESIMPULAN

Dusun Tomuan Pane di Kabupaten Simalungun, Sumatra Utara mengalami permasalahan dalam distribusi air minum karena belum tersedianya jaringan distribusi ke rumah warga. Kualitas air yang ada juga menunjukkan kontaminasi fosfat dan total coliform. Oleh sebab itu diperlukan studi perancangan penyediaan air minum yang memenuhi standar peraturan yang berlaku. Berdasarkan analisis proyeksi jumlah penduduk, kebutuhan air minum pada tahun 2040 adalah sebesar 0,88 L/detik. Sistem pengolahan air dirancang menggunakan kombinasi filtrasi

downflow dan *upflow*. Reaktor pertama menggunakan media zeolit, pasir, dan karbon aktif dengan waktu kontak 18 menit untuk menghilangkan total coliform, sedangkan reaktor kedua menggunakan media zeolit, kerikil, karbon aktif, dan pasir dengan waktu kontak 110 menit untuk menurunkan kadar fosfat. Sistem distribusi air dirancang mulai dari sumber mata air menuju unit pengolahan, kemudian ke reservoir, dan akhirnya ke sambungan rumah warga. Jenis pipa yang digunakan adalah pipa besi galvanis dengan diameter 5 cm dari mata air ke reservoir dan 4 cm dari reservoir ke dusun. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak EPANET, jaringan ini memenuhi standar dengan kecepatan aliran sebesar 0,71 m/detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriati, Y., 2021. *Model Pengolahan Air Baku dengan Sistem Kombinasi Filter Downflow – Upflow*. Doktoral Disertasi. Fakultas Teknik, Universitas Hasanudin.
- Anti, S., Opirina, L., Silvia, C.S., 2022. Analisis Sistem Penyediaan Air Minum Kecamatan Blangpidie Kabupaten Aceh Barat Daya. *Journal of the Civil Engineering Student* 4, 155–161. <https://doi.org/10.24815/journalces.v4i2.19076>
- Artiyani, A., Firmansyah, N., 2016. Kemampuan Filtrasi Upflow Pengolahan Filtrasi Upflow dengan Media Pasir Zeolit dan Arang Aktif dalam Menurunkan Kadar Fosfat dan Deterjen Air Limbah Domestik. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri* 6, 8–15.
- Aryani, F., 2019. Aplikasi Metode Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia pada Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera* L.). *Indonesian Journal of Laboratory* 1, 16. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i2.44743>
- Asiah, 2023. Analisis Peningkatan Kualitas Air dengan Metode Upflow Menggunakan Batu Apung dan Pasir Silika. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Mataram
- Awe, O.M., Okolie, S.T.A., Fayomi, O.S.I., 2019. Optimization of Water Distribution Systems: A Review. *J Phys Conf Ser* 1378, 022068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/2/022068>
- Badan Standar Nasional, 2002. *Penyusunan Neraca Sumber Daya*, Standar Nasional Indonesia. Indonesia.
- Djana, M., 2023. Analisis Kualitas Air dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih di Kecamatan Natar Hajimena Lampung Selatan. *Jurnal Redoks* 8, 81–87. <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i1.11853>
- Fairuz, A.N., 2022. *Studi Waktu Kontak dan Ketebalan Media pada Filtrasi Teknologi Rainwater Harvesting di Universitas Tidar*. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang.
- Faradila, R., Huboyo, H.S., Syakur, A., 2023. Rekayasa Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Metode Kombinasi Filtrasi Untuk Menurunkan Tingkat Polutan Air. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 22, 342–350. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.3.342-350>
- Hartinie, R., 2015. *Penurunan Nitrat, Warna, dan Escherichia Coli (E.Coli) pada Air Sumur Daerah Rungkut Surabaya menggunakan Metode Kombinasi Slow Sand Filter dan Karbon Aktif*. Master Tesis. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Imam Asari, Hartini, H., Iman Darmawan, M., 2024. Pengaruh Filtrasi dengan Aliran Upflow Guna Mereduksi Kandungan Pencemar pada Limbah Pencucian Kendaraan. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 2, 93–102. <https://doi.org/10.29408/jtl.v2i2.27823>
- Johnson, D.L., Lynch, R.A., Villanella, S.M., Jones, J.F., Fang, H., Mead, K.R., Hirst, D.V.L., 2017. Persistence of Bowl Water Contamination during Sequential Flushes of Contaminated Toilets. *J Environ Health* 80, 34–49.
- Madjar, R.M., Vasile Scăețeanu, G., Sandu, M.A., 2024. Nutrient Water Pollution from Unsustainable Patterns of Agricultural Systems, Effects and Measures of Integrated Farming. *Water (Basel)* 16, 3146. <https://doi.org/10.3390/w16213146>
- Manshuri, Fauzi, M., Sandyavitri, A., 2015. Kajian Ketersediaan dan Kebutuhan Air Baku Dengan Pemodelan Ihacres Di Daerah Aliran Sungai Tapung Kiri. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau* 2, 1–12.
- Oktafia, A. Dela, Purwono, N.A., Hudoyu, C.P., Barkah, A., 2023. Analisis Jaringan Distribusi Air Bersih PDAM Banyumas pada Wilayah Pelayanan SPAM Patikraja dengan Software EPANet 2.0. *Teodolita: Media Komunkasi Ilmiah di Bidang Teknik* 24, 33–46. <https://doi.org/10.53810/jt.v24i1.474>
- Pahude, M., 2022. Analisis Kebutuhan Air Bersih di Desa Santigi Kecamatan Tolitoli Utara Kabupaten Tolitoli. *Jurnal Inovasi Penelitian* 3, 48–55.
- Pentury, M., 2022. Analisa Kualitas Sumber Air Minum di Negeri Lesluru Kecamatan Teon Nila Serua Kabupaten Maluku Tengah Tahun 2022. *Moluccas Health Journal* 4, 14–22.
- Peraturan Pemerintah No.122. (2015). *Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Sekretariat Negara Republik Indonesia.

- Pinem, K.I., 2019. *Pengaruh Rate Filtrasi dan Ketebalan Media Pasir Silika terhadap Penurunan Nilai Kekeruhan dan Peningkatan Nilai pH dalam Filtrasi Air Gambut*. Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Pudjawan, I.W.B.A., 2024. *Penggunaan Filtrasi dengan Media Keramik dan Pasir Silika untuk Menurunkan Kandungan Total Coliform (Studi Kasus Pengolahan Sumber Air Pura Taman Beji, Desa Pendarungan*. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Badung.
- Ratnawati, R., Kholif, M. Al, 2018. Aplikasi Media Batu Apung pada Biofilter Anaerobik untuk Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Ayam. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan* 10, 1–14. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol10.iss1.art1>
- Rizan, M.A., 2023. *Pengaruh Filtrasi terhadap Penyisihan Fisik dan Biologi Air Irigasi untuk Keperluan Higiene Sanitasi Pondok Pesantren AL Mubarak Tempuran Magelang*. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang.
- Rossmann, L.A., 2000. *EPANet 2.0 User Manual*. Water Supply and Water, 1st ed. Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati.
- Salim, N., Rizal, N.S., Vihantara, R., 2018. Komposisi Efektif Batok Kelapa sebagai Karbon Aktif untuk Meningkatkan Kualitas Airtanah di Kawasan Perkotaan. *Media Komunikasi Teknik Sipil* 24, 87. <https://doi.org/10.14710/mkts.v24i1.18865>
- Saputra, W., 2021. Analisa Kebutuhan Air Bersih (Studi Kasus Desa Simpang Gaung Kecamatan Gaung Kabupaten Indragiri Hilir). *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir* 7, 61–68. <https://doi.org/10.47521/selodangmayang.v7i1.180>
- Selfia, M., Aida, N., Rahman, A., 2022. Pengolahan Limbah Cair Pencucian Kendaraan dengan Sistem Filtrasi Menggunakan Filter Multimedia *Lingkar: Journal of Environmental Engineering* 3, 17–31. <https://doi.org/10.22373/ljee.v3i1.1925>
- Sulianto, A.A., Kurniati, E., Hapsari, A.A., 2019. Perancangan Unit Filtrasi untuk Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sistem Downflow. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 6, 31–39. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2019.006.03.4>
- Sutrisman, A.I., Marlina, S., Lesmana, R.Y., 2023. Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) di Desa Upun Batu, Kecamatan Tewah, Kabupaten Gunung Mas. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan* 8, 34–41. <https://doi.org/10.33084/mitl.v8i1.4700>
- Yahya, L.D.N., 2020. Studi Penyediaan Air Bersih di Desa Bulotalangi Timur Kecamatan Bulango Timur Kabupaten Bone Bolango. *Radial: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi* 7, 136–152. <https://doi.org/10.37971/radial.v7i2.190>
- Zahro, S.F., Setyowati, Rr.D.N., Nengse, S., Utama, T.T., 2023. Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Kombinasi Media Pasir Silika-Karbon Aktif-Manganese Greensand. *Dampak* 19, 8–16. <https://doi.org/10.25077/dampak.19.1.8-16.2022>