

Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) pada Kecamatan Kebonsari, Kabupaten Madiun dengan Sistem Pompa

Andhyanerra Irsia Prasasti, Aussie Amalia*, Restu Hikmah Ayu Murti*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: aussieamalia.tl@upnjatim.ac.id, restu.hikmah.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 21 Mei 2026

Disetujui: 1 Juni 2026

Abstract

Kecamatan Kebonsari, Kabupaten Madiun is one of the areas that has not yet been served by a Drinking Water Supply System (SPAM). This study aims to design a SPAM distribution system in Kecamatan Kebonsari using a full pumping system to meet water demand within a 20-year projection period. The research methods include identifying existing regional conditions, population projection, calculation of domestic and non-domestic water demand, and pipeline network planning using hydraulic profile methods and EPANET 2.2 software simulation. The distribution system is designed using reservoirs and distribution pumps to deliver water to the service area. The planning results indicate that the distribution network is capable of meeting peak hour water demand, with pressure, flow velocity, and headloss values still complying with SPAM planning criteria. The full pumping system was selected because it is considered more capable of distributing water optimally within the planning area, which has certain elevation conditions and a wide service coverage area.

Keywords: *drinking water supply system, pumping system, drinking water distribution, hydraulic profile, epanet 2.2*

Abstrak

Kecamatan Kebonsari, Kabupaten Madiun merupakan salah satu wilayah yang hingga saat ini belum terlayani Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM). Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem distribusi SPAM di Kecamatan Kebonsari menggunakan sistem pompa penuh guna memenuhi kebutuhan air pada tahun rencana proyeksi 20 tahun. Metode penelitian meliputi identifikasi kondisi eksisting wilayah, proyeksi jumlah penduduk, perhitungan kebutuhan air domestik dan non domestik, serta perencanaan jaringan perpipaan menggunakan metode profil hidrolis dan simulasi *software* EPANET 2.2. Sistem distribusi direncanakan menggunakan reservoir dan pompa distribusi untuk mengalirkan air menuju wilayah pelayanan. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa jaringan distribusi mampu memenuhi kebutuhan air pada jam puncak dengan nilai tekanan, kecepatan aliran, dan *headloss* yang masih memenuhi kriteria perencanaan SPAM. Sistem pompa penuh dipilih karena dinilai mampu mendistribusikan air secara lebih optimal pada wilayah perencanaan dengan kondisi elevasi tertentu dan cakupan pelayanan yang luas.

Kata Kunci: *sistem penyediaan air minum, sistem pompa, distribusi air minum, profil hidrolis, epanet 2.2*

1. Pendahuluan

Penyediaan air minum merupakan salah satu aspek penting yang menjadi prioritas utama dalam perencanaan pembangunan suatu wilayah. Ketersediaan air bersih tidak hanya berfungsi untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia sehari – hari, namun juga berperan penting dalam mendukung sektor lainnya [1]. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, air minum merupakan air yang telah melalui proses pengolahan maupun tanpa pengolahan, yang memenuhi persyaratan kesehatan sesuai ketentuan yang berlaku sehingga aman untuk dikonsumsi secara langsung oleh manusia. Kualitas air minum ditentukan berdasarkan standar baku mutu kesehatan lingkungan yang meliputi berbagai parameter sebagai acuan dalam menilai tingkat keamanan air minum. Konsumsi air minum yang tidak memenuhi persyaratan keamanan dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan, khususnya pada kelompok rentan seperti balita, lanjut usia, serta individu dengan kondisi daya tahan tubuh yang rendah [2].

Ketersediaan air minum yang memenuhi standar kelayakan sangat berperan dalam peningkatan derajat kesehatan masyarakat serta mampu mendorong terciptanya produktivitas yang lebih tinggi dalam kehidupan sehari-hari. Upaya penyediaan air minum tidak dapat dilepaskan dari ketersediaan sumber air baku, sebab air baku inilah yang menjadi bahan utama yang selanjutnya akan diproses dan diolah melalui berbagai tahapan pengolahan sehingga layak dikonsumsi oleh masyarakat [3].

Salah satu bentuk infrastruktur vital yang dibangun dan disediakan oleh pemerintah dalam rangka pemenuhan kebutuhan air minum masyarakat adalah sistem jaringan distribusi yang pengelolaannya berada di bawah Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Jaringan distribusi ini memiliki peran utama sebagai sarana penyaluran air minum yang telah melalui proses pengolahan dan dipastikan memenuhi standar baku mutu, sehingga dapat didistribusikan secara merata dan aman hingga sampai kepada seluruh pelanggan. Dengan adanya jaringan pipa distribusi tersebut, kontinuitas pelayanan air minum dapat terjamin serta mendukung peningkatan kualitas hidup masyarakat [4]. Proses distribusi air minum dilakukan dengan mempertimbangkan sejumlah faktor penting antara lain kualitas air, kuantitas air yang memadai, serta kestabilan tekanan air agar aliran dapat merata ke seluruh wilayah pelayanan. Dalam sistem jaringan distribusi, pipa yang digunakan dibagi menjadi tiga jenis yaitu pipa primer, pipa sekunder dan pipa tersier. Pipa primer berfungsi mengalirkan air dari sumber atau intake menuju reservoir sebagai tempat penampungan, pipa sekunder menyalurkan air dari pipa primer ke jaringan pipa tersier, dan pipa tersier berfungsi mendistribusikan air secara langsung hingga sampai ke konsumen [5].

Dalam upaya memenuhi kebutuhan air bersih bagi masyarakat, Pemerintah Kabupaten Madiun membentuk Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Dharma Purabaya. Saat ini, Kecamatan Kebonsari masih belum mendapatkan layanan PDAM. Kecamatan ini memiliki luas wilayah 50,36 km² dan terdiri atas 14 desa dengan jumlah penduduk mencapai 60.163 pada akhir tahun 2023 [6]. Dalam perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), terdapat beberapa metode pengaliran air minum yang dapat diterapkan dalam jaringan distribusi yaitu sistem gravitasi, sistem perpompaan dan sistem kombinasi. Dalam sistem gravitasi, air mengalir dari titik masuk yang berada pada elevasi tertinggi menuju seluruh titik lainnya dalam sistem. Sistem semacam ini umumnya dapat diterapkan di daerah perbukitan, dimana sumber air berasal dari aliran air alami dan kondisi topografi yang tinggi [7]. Berbeda halnya dengan sistem perpompaan, di mana pompa digunakan untuk menambah tekanan air sehingga mampu mengalir melalui jaringan pipa menuju pelanggan.

Sementara itu, sistem kombinasi merupakan integrasi dari kedua metode tersebut, yaitu memanfaatkan perbedaan elevasi sekaligus menggunakan pompa untuk memperkuat aliran air, sehingga distribusi dapat berlangsung lebih optimal. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini akan merencanakan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) di Kecamatan Kebonsari, Kabupaten Madiun dengan menggunakan sistem pompa dan menyesuaikan kondisi eksisting yang ada.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, akan digunakan perhitungan profil hidrolis secara manual dan simulasi *software Epanet 2.2*. *Software Epanet 2.2* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan simulasi terhadap aliran hidrolis sekaligus kualitas air pada sistem jaringan perpipaan

Metode penelitian dalam jurnal ini terbagi dalam beberapa tahap, yaitu :

1. Identifikasi masalah

Tahap identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting sistem penyediaan air minum pada wilayah penelitian serta permasalahan yang terjadi dalam pemenuhan kebutuhan air bersih masyarakat. Identifikasi dilakukan melalui pengumpulan data sekunder berupa data jumlah penduduk, kondisi jaringan distribusi, topografi wilayah, serta data pelayanan air bersih yang tersedia. Selain itu, dilakukan peninjauan terhadap kendala yang memengaruhi distribusi air, seperti keterbatasan debit, tekanan air yang belum merata, dan perkembangan kebutuhan air akibat pertumbuhan penduduk. Hasil identifikasi masalah digunakan sebagai dasar dalam penyusunan perencanaan sistem penyediaan air minum pada wilayah penelitian.

2. Analisis peta, proyeksi penduduk serta kebutuhan air

Tahap ini dilakukan dengan menganalisis peta wilayah penelitian untuk mengetahui kondisi topografi, elevasi, dan pola persebaran permukiman yang berpengaruh terhadap perencanaan jaringan distribusi air minum. Selanjutnya dilakukan proyeksi jumlah penduduk untuk mengetahui perkembangan jumlah penduduk pada periode perencanaan. Proyeksi penduduk digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan air domestik dan non domestik di masa mendatang. Analisis kebutuhan air dilakukan berdasarkan standar kebutuhan air per kapita serta mempertimbangkan faktor kehilangan air dan faktor jam puncak sehingga diperoleh debit kebutuhan air rencana.

Pada praktiknya, pengembangan sistem penyediaan air bersih tidak hanya berfokus pada peningkatan kapasitas pelayanan, tetapi juga mencakup perluasan wilayah pelayanan. Oleh karena itu, pengembangan sistem air bersih perlu disesuaikan dengan pertumbuhan dan perkembangan daerah yang dilayani. Dalam proses perencanaannya, peta wilayah dan data topografi memiliki peranan penting

untuk mengetahui kondisi area pelayanan, arah pengembangan wilayah, serta menentukan jalur jaringan perpipaan yang sesuai sehingga distribusi air dapat berlangsung secara optimal [8].

3. Pemilihan wilayah perencanaan

Pemilihan wilayah perencanaan dilakukan berdasarkan kondisi pelayanan air minum eksisting, tingkat kebutuhan masyarakat terhadap air bersih, serta potensi pengembangan jaringan distribusi. Selain itu, pemilihan wilayah juga mempertimbangkan aspek administratif, jumlah penduduk, kondisi topografi, dan ketersediaan sumber air. Wilayah yang dipilih merupakan daerah yang membutuhkan pengembangan sistem penyediaan air minum guna meningkatkan cakupan pelayanan dan memenuhi kebutuhan air masyarakat secara berkelanjutan.

4. Perhitungan kebutuhan Air

Perhitungan kebutuhan air dilakukan untuk menentukan besarnya debit air yang diperlukan pada wilayah perencanaan selama periode desain. Kebutuhan air dihitung berdasarkan jumlah penduduk hasil proyeksi, kebutuhan domestik dan non domestik, serta memperhitungkan kehilangan air pada jaringan distribusi. Selain itu, dilakukan perhitungan debit rata-rata, debit maksimum harian, dan debit jam puncak untuk memperoleh kapasitas sistem yang sesuai dengan kondisi pelayanan yang direncanakan. Hasil perhitungan kebutuhan air digunakan sebagai dasar dalam penentuan dimensi jaringan perpipaan dan kapasitas komponen sistem.

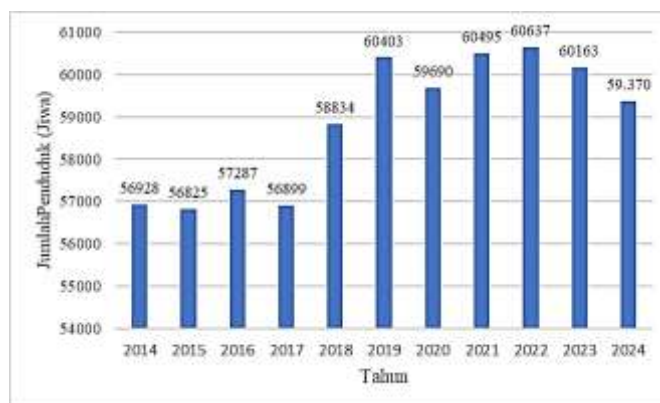
5. Perhitungan dengan profil hidrolis dan simulasi melalui *Software Epanet 2.2*

Tahap perhitungan hidrolis dilakukan untuk mengetahui kemampuan jaringan distribusi dalam mengalirkan air sesuai debit kebutuhan yang telah direncanakan. Perhitungan dilakukan secara manual menggunakan profil hidrolis untuk mengetahui nilai kehilangan tekanan (*headloss*), kecepatan aliran, dan sisa tekan pada setiap titik jaringan. Selanjutnya dilakukan simulasi jaringan menggunakan software EPANET 2.2 guna menganalisis kinerja sistem distribusi air secara lebih rinci.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Proyeksi Penduduk dan Proyeksi Fasilitas

Proyeksi penduduk merupakan prediksi yang dibuat untuk memprediksikan kecenderungan di masa yang akan datang. Hal ini berkaitan dengan perencanaan sistem air minum karena dengan adanya proyeksi, dapat memprediksikan kebutuhan air minum suatu daerah dalam kurun waktu perencanaan yang telah ditentukan. Dalam hal ini, dilakukan proyeksi penduduk dengan menggunakan data jumlah penduduk minimal pada 10 tahun terakhir. Berikut merupakan jumlah penduduk Kecamatan Kebonsari, Kabupaten Madiun pada tahun 2014-2024 dapat dilihat pada **Gambar 1** dibawah ini.



Gambar 1. Jumlah penduduk Kecamatan Kebonsari, Kabupaten Madiun tahun 2014-2024

Dalam memproyeksikan penduduk, terdapat tiga metode yang dapat digunakan yaitu metode geometri, aritmatik dan least square. Berdasarkan hasil perhitungan ketiga korelasi ini, didapatkan bahwa perhitungan dengan metode proyeksi geometri memiliki nilai korelasi terbesar sebesar 0,833 dimana nilai ini mendekati 1 diantara nilai korelasi proyeksi aritmatik dan least square. Metode geometrik merupakan metode proyeksi penduduk yang mengasumsikan bahwa pertumbuhan jumlah penduduk terjadi secara terus-menerus setiap tahun dengan laju pertumbuhan yang relatif tetap. Pada metode ini, jumlah penduduk diasumsikan mengalami peningkatan secara otomatis mengikuti pola pertumbuhan majemuk (*compound growth*) tanpa memperhitungkan adanya penurunan jumlah penduduk. Oleh karena itu, metode geometrik umumnya digunakan pada wilayah yang memiliki kecenderungan pertumbuhan penduduk stabil dan terus meningkat dari tahun ke tahun [9]. Kurun waktu pada proyeksi ini sesuai dengan perencanaan, yaitu 20

tahun. Berikut merupakan proyeksi penduduk Kecamatan Kebonsari di semua desa mulai tahun 2024 – 2044.

Tabel 1. Proyeksi penduduk Kecamatan Kebonsari tahun 2024 – 2044

PROYEKSI PENDUDUK KEC. KEBONSARI			
Tahun	Jumlah Penduduk	Tahun	Jumlah Penduduk
2024	59370	2035	60756
2025	59495	2036	60884
2026	59620	2037	61011
2027	59745	2038	61140
2028	59870	2039	61268
2029	59996	2040	61397
2030	60122	2041	61525
2031	60248	2042	61655
2032	60375	2043	61784
2033	60502	2044	61914
2034	60629		

Sedangkan berdasarkan hasil proyeksi fasilitas pada tahun 2044 menunjukkan adanya peningkatan mengalami kenaikan yang sangat kecil. Hal ini bisa disebabkan oleh laju pertumbuhan penduduk yang juga relatif rendah serta kapasitas pada fasilitas umum yang masih mampu melayani kebutuhan masyarakat.

3.2 Penentuan Wilayah dan Sumber Air Baku

Pada perencanaan ini akan menggunakan sumber air baku air Sungai Madiun yang merupakan anak sungai dari Sungai Bengawan Solo. Penentuan wilayah pelayanan pada perencanaan ini dilihat dan mempertimbangkan beberapa hal seperti sebaran penduduk yang terletak dengan sumber air. Selanjutnya akan direncanakan beberapa wilayah desa yang termasuk dalam pengembangan pelayanan SPAM yaitu Desa Kedondong, Desa Balerejo, Desa Kebonsari, Desa Singgahan, Desa Krandegan, Desa Pucanganom dan Desa Sukorejo. Dalam perencanaan ini, terdapat pelayanan untuk proyeksi 20 tahun yang kemudian dilakukan pembagian blok pelayanan. Untuk debit pelayanan, direncanakan berdasarkan jumlah penduduk yang akan dilayani dan mempertimbangkan faktor kehilangan/kebocoran air sebesar 20% sesuai dengan standar toleransi angka kebocoran air bersih PDAM secara nasional menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 20/PRT/M/2006, yaitu kehilangan air maksimal 20%.

3.3 Kebutuhan Air Domestik dan Non Domestik

Kebutuhan air domestik merupakan kebutuhan air yang digunakan untuk memenuhi aktivitas rumah tangga sehari-hari. Penggunaan air domestik meliputi keperluan minum, memasak, mandi, sanitasi, membersihkan rumah, mencuci pakaian, mencuci kendaraan, menyiram tanaman atau kebun, serta kebutuhan pendukung lainnya seperti pengisian air mancur dan kolam renang. Dalam perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), kebutuhan air domestik menjadi komponen utama yang dipengaruhi oleh jumlah penduduk, tingkat konsumsi air, dan karakteristik wilayah pelayanan [10].

Sedangkan kebutuhan air non domestik merupakan kebutuhan air yang digunakan untuk menunjang aktivitas di luar keperluan rumah tangga. Kebutuhan ini meliputi penggunaan air pada fasilitas umum, perkantoran, sekolah, tempat ibadah, sarana kesehatan, perdagangan, industri, peternakan, serta kegiatan sosial dan ekonomi lainnya. Kebutuhan harian rata-rata merupakan total kebutuhan air yang diperoleh dari penjumlahan kebutuhan air domestik, kebutuhan air non domestik, serta kehilangan air dalam sistem distribusi. Besarnya kebutuhan tersebut dihitung berdasarkan rata-rata kebutuhan air setiap orang dalam satu hari atau selama 24 jam [11]. Dalam perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), kebutuhan air non domestik dihitung sebagai bagian dari total kebutuhan air wilayah pelayanan. Perhitungan kebutuhan air domestik dilakukan berdasarkan jumlah penduduk serta tingkat konsumsi atau pemakaian air per kapita setiap harinya dilihat di **Tabel 2** [12].

Tabel 2. kebutuhan air domestik berdasarkan jumlah penduduk serta konsumsi

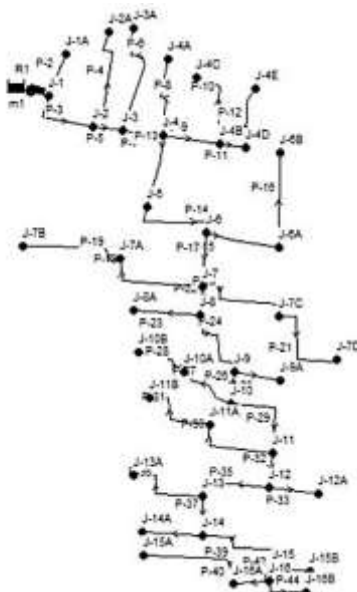
Debit Perencanaan Proyeksi 20 Tahun																		
Blok	Wilayah Perencanaan	Jumlah Penduduk	Asumsi Jumlah Keluarga per KK	% Pelayanan	Penduduk yang Terlayani	KK	SR Terlayani	Kebutuhan Harian (L/hari)	Debit Pelayanan/ Q Dom (L/detik)	Q non Domestik	Total Q Dom + Q non Dom	Asumsi Kebocoran	Q Avg	Q Avg per Blok	Q Max	Q Peak	Q Total	Q Total per Blok
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Kedondong	5135	5	1	5135	1027	1027	564850	6,538	0,956	7,494	1,499	8,993	16,261	13,49	20,23	30,35	54,881
	Balerejo	4154	5	1	4154	831	831	456940	5,289	0,768	6,057	1,211	7,268		10,90	16,35	24,53	
2	Kebonsari	5942	5	1	5942	1188	1188	653620	7,565	1,417	8,982	1,796	10,779	16,711	16,17	24,25	36,38	56,400
	Singgahan	3266	5	1	3266	653	653	359260	4,158	0,786	4,944	0,989	5,933		8,90	13,35	20,02	
3	Krandegan	4627	5	1	4627	925	925	508970	5,891	0,816	6,707	1,341	8,048	15,356	12,07	18,11	27,16	51,827
	Pucanganom	6037	5	0,5	3019	1207	604	332035	3,843	2,247	6,090	1,218	7,308		10,96	16,44	24,66	
4	Pucanganom	6037	5	0,5	3019	1207	604	332035	3,843	2,247	6,090	1,218	7,308	14,138	10,96	16,44	24,66	47,717
	Sukorejo	4269	5	1	4269	854	854	469590	5,435	0,257	5,692	1,138	6,830		10,25	15,37	23,05	
Total									42,56	9,49	52,06	10,41	62,47	62,47	93,70	140,55	210,83	210,83
Total Q Dom + Q Non Dom Daerah Pelayanan									L/detik									

Berdasarkan **Tabel 2** diatas, diketahui bahwa total kebutuhan air domestik dan non domestik untuk perencanaan proyeksi 20 tahun di wilayah studi sebesar 210,83 L/detik dengan asumsi jumlah anggota keluarga yaitu 5 orang per KK dan target tingkat pelayanan berada pada rentang 50% dari total penduduk yang ada pada Kecamatan Kebonsari. Dalam perencanaan proyeksi 20 tahun ini, perluasan pelayanan memprioritaskan wilayah penduduk yang mudah untuk dilayani dan berada pada jalan utama.

Dalam perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), perhitungan kebutuhan air tidak hanya didasarkan pada kebutuhan rata-rata harian, tetapi juga mempertimbangkan fluktuasi pemakaian air yang terjadi pada kondisi tertentu. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan debit kebutuhan air rata-rata, debit harian maksimum (Q_{max}), dan debit jam puncak (Q_{peak}) untuk mengetahui besarnya kebutuhan air pada saat penggunaan tertinggi. Perhitungan tersebut bertujuan agar sistem distribusi yang direncanakan mampu melayani kebutuhan air masyarakat secara optimal pada kondisi normal maupun saat terjadi peningkatan pemakaian air. Debit jam puncak digunakan sebagai dasar dalam perencanaan kapasitas pipa, reservoir, serta pompa distribusi sehingga kontinuitas pelayanan air minum tetap dapat terpenuhi. Fluktuasi penggunaan air merupakan perubahan pemakaian air pada setiap jam dalam sistem distribusi. Analisis fluktuasi penggunaan air dilakukan untuk mengetahui kondisi pemakaian air pada jam puncak maupun jam minimum, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan *demand pattern* pada proses simulasi jaringan distribusi [13].

3.4 Sistem Jaringan Distribusi menggunakan Profil Hidrolis dan Software Epanet 2.2

Pada perencanaan sistem distribusi air minum alternatif ini, menggunakan sistem dengan pompa penuh. Dimana air baku akan diambil dari sumber air dengan elevasi rendah, lalu air dialirkan ke reservoir yang terletak pada Desa Kebonsari, Kecamatan Kebonsari. Selanjutnya air dari reservoir dialirkan ke wilayah pelayanan. Dari perencanaan alternatif pompa ini, melayani kebutuhan air sekitar 50% dari jumlah penduduk Kecamatan Kebonsari dengan proyeksi 20 tahun. Skenario jaringan distribusi dengan alternatif sistem pompa dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 2. Skenario jaringan distribusi dengan alternatif sistem pompa

Tabel 3. Jalur dan data jaringan air

Jalur	Node	Elevasi (+ m)	Beda Tinggi (m)	Panjang Pipa (m)	Flow Proyeksi Jam Puncak (lt/det)	Koeff HW (C)	Diameter Pipa (mm)	Hloss per 100 m	Total Hloss (+10% minor) (m)	HGL (m)	Sisa Tekan (m)	Kecepatan (m/det)
1	2	3	4	5	10	11	12	13	14	15	16	17
	R	100								100		
R-J1	J1	72	28	362	210,83	140	450	0,35	1,40	98,60	26,60	1,326
J1-J2	J2	72	0	1258	205,14	140	450	0,33	4,63	93,97	21,97	1,290
J2-J3	J3	74	-2	460	194,41	140	450	0,30	1,53	92,43	18,43	1,223
J3-J4	J4	78	-4	625	183,25	140	450	0,27	1,87	90,57	12,57	1,153
						140				110,57		
J4-J5	J5	80	-2	1062	155,95	140	450	0,20	2,35	108,21	28,21	0,981
J5-J6	J6	82	-2	1233	155,95	140	450	0,20	2,73	105,48	23,48	0,981
J6-J7	J7	86	-4	812	130,4	140	450	0,14	1,29	104,18	18,18	0,820
J7-J8	J8	92	-6	398	99,55	140	450	0,09	0,38	103,80	11,80	0,626
										123,80		
J8-J9	J9	94	-2	977	55,43	140	355	0,09	1,01	122,79	28,79	0,560
J9-J10	J10	96	-2	418	47,72	140	355	0,07	0,33	122,46	26,46	0,482
J10-J11	J11	98	-2	874	38,46	140	315	0,09	0,82	121,63	23,63	0,494
J11-J12	J12	99	-1	466	28,23	140	315	0,05	0,25	121,38	22,38	0,350
J12-J13	J13	100	-1	1098	25,61	140	315	0,04	0,49	120,90	20,90	0,329
J13-J14	J14	104	-4	521	20,32	140	315	0,03	0,15	120,75	16,75	0,261
J14-J15	J15	104	0	1261	16,77	140	315	0,02	0,26	120,49	16,49	0,330
J15-J16	J16	105	-1	325	6,85	140	315	0,00	0,01	120,48	15,48	0,310

Berikut merupakan contoh perhitungan tabel diatas, yaitu :

- **Jalur**

Kolom ini berisikan jalur pipa yang telah direncanakan.

- **Node**

Node ditetapkan sebagai titik imajiner yang digunakan untuk mempermudah proses perencanaan sistem penyediaan air minum (SPAM) di Kecamatan Kebonsari.

- **Elevasi**

Pada perencanaan SPAM ini, akan direncanakan elevasi reservoir sebesar 100 meter. Dimana elevasi tanah yaitu 75 m dan ditambah dengan elevasi menara sebesar 25 meter. Lalu untuk kolom dibawahnya, terdapat elevasi pada jalur pelayanan pertama yaitu pada jalur pipa di J1 dengan elevasi sebesar 72 meter.

- **Beda Tinggi**

Pada kolom ini, merupakan selisih antara elevasi pada node sebelumnya dengan node sesudahnya.

Elevasi awal pada R1 (h1) = 100 m

Elevasi pada J1 (h2) = 72 m

Beda Tinggi = $h_1 - h_2$

= 100 m – 72 m

= 28 m

- **Panjang Pipa**

Panjang pipa pada perencanaan SPAM ini didapatkan melalui survey langsung pada daerah yang akan direncanakan.

- **Flow Proyeksi Jam Puncak**

Pada kolom ini merupakan kebutuhan air jam puncak pada pipa, dimana kondisi air dalam pemakaian tertinggi dalam waktu kurun 24 jam pada setiap pipa distribusi.

- **Koefisien Hazen Williams (C)**

Dalam perencanaan ini, digunakan pipa PVC dengan nilai koefisien pipa yaitu 140

- **Diameter Pipa**

Penentuan diameter pipa dilakukan dengan mempertimbangkan kecepatan aliran air yang berada pada kisaran 0,3–2,5 m/detik serta sisa tekanan yang dihasilkan. Dalam perencanaan SPAM ini digunakan variasi diameter pipa, yaitu diameter dalam sebesar 450 mm, 355 mm dan 315 mm

- **Headloss per 100 m**

Headloss merupakan penurunan tekanan yang terjadi pada aliran fluida, yang dapat memengaruhi kinerja pompa, terutama pada tekanan dan debit di sisi discharge. Head loss terbagi menjadi dua jenis, yaitu head loss mayor yang terjadi sepanjang pipa, serta head loss minor yang terjadi pada sambungan pipa seperti elbow, tee, dan valve. Perhitungan head loss per 100 meter dilakukan pada setiap jalur pipa dengan menggunakan rumus berikut:

$$Headloss = \left(\frac{3,59 \times Q \text{ peak pada setiap pipa} \times 10^6}{D^{2,63} \times C} \right)^{1,85}$$

Contoh perhitungan pada Jalur R-J1

$$Headloss = \left(\frac{3,59 \times 210,83 \times 10^6}{450^{2,63} \times 140} \right)^{1,85}$$

$$= 0,35 \text{ m}$$

Nilai *headloss* yang diperoleh sebesar 0,35 m per 100 m atau setara dengan 3,5 m/km, yang menunjukkan bahwa kehilangan energi akibat gesekan dalam pipa relatif kecil.

• Total Headloss

Perhitungan total *headloss* dilakukan pada setiap jalur pipa dengan memperhitungkan kehilangan energi minor sebesar 10%, menggunakan rumus berikut:

$$Total \text{ Headloss} = Headloss \text{ per } 100 \text{ m} \times \frac{L \text{ pipa}}{100} \times \frac{1 + 10\%}{100}$$

Contoh perhitungan pada Jalur R-J1

$$Total \text{ Headloss} = 0,35 \text{ m} \times \frac{362 \text{ m}}{100} \times \frac{1 + 10\%}{100}$$

$$Total \text{ Headloss} = 1,40 \text{ m}$$

Total headloss yang diperoleh sebesar 1,40 m yang merupakan akumulasi dari headloss mayor dan headloss minor sebesar 10%

• HGL

Hydraulic Grade Line (HGL) menggambarkan ketinggian head yang terdiri dari elevasi dan tekanan statis. Nilai HGL dihitung menggunakan rumus berikut:

$$HGL = \text{Elevasi} - \text{Total Headloss}$$

Contoh perhitungan pada Jalur R - J1

$$HGL \text{ R} - J1 = 100 \text{ m} - 1,40 \text{ m}$$

$$HGL \text{ R} - J1 = 98,60 \text{ m}$$

• Sisa Tekan

Perhitungan sisa tekan merupakan besarnya tekanan air yang masih tersedia pada suatu titik di sepanjang jalur pipa. Nilai sisa tekan diperoleh dari selisih antara *Hydraulic Grade Line* (HGL) dengan elevasi titik pipa yang ditinjau. Sisa tekan dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Sisa Tekan} = HGL - \text{Elevasi jalur pipa}$$

Contoh perhitungan pada Jalur R - J1

$$\text{Sisa Tekan} = 98,60 \text{ m} - 72 \text{ m}$$

$$\text{Sisa Tekan} = 26,60 \text{ m}$$

• Kecepatan

Kecepatan aliran air merupakan jarak yang ditempuh oleh aliran air dalam suatu saluran per satuan waktu. Nilai kecepatan aliran air dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi D^2}$$

Contoh perhitungan pada Jalur R - J1

$$V = \frac{4 \times 210,83 \text{ l/s}}{1000}$$

$$V = \frac{3,14 \times 450^2}{1000}$$

$$V = 1,326 \text{ m/s}$$

Profil hidrolis pada jalur distribusi diawali dari reservoir (R) dengan elevasi muka air sebesar +100 m. Air dialirkan menuju junction J1 sampai J4 melalui pipa berdiameter 450 mm. Pada segmen ini terjadi penurunan *Hydraulic Grade Line* (HGL) secara bertahap akibat kehilangan energi sepanjang pipa, dari 100 m di reservoir menjadi 98,60 m di J1 dan terus turun hingga 90,57 m di J4. Sisa tekan di J4 sebesar 12,57 m menunjukkan tekanan sudah mendekati batas minimum yang diizinkan. Untuk mempertahankan tekanan dalam jaringan, setelah J4 dilakukan penambahan head pompa sekitar 20 m sehingga nilai HGL meningkat menjadi 110,57 m. Air kemudian dialirkan ke junction J5 hingga J8 dan kembali mengalami penurunan HGL akibat kehilangan energi, yaitu dari 108,21 m di J5 menjadi 103,80 m di J8. Pada titik ini, sisa tekan sebesar 11,80 m juga mendekati batas minimum.

Selanjutnya dilakukan penambahan *head pompa* sekitar 20 m setelah J8 sehingga HGL naik menjadi 123,80 m. Air diteruskan menuju junction J9 sampai J16 melalui pipa berdiameter lebih kecil, yaitu 355 mm dan 315 mm, yang disesuaikan dengan penurunan debit aliran. Nilai HGL kembali menurun secara bertahap hingga mencapai 120,48 m di J16. Sisa tekan pada junction terakhir sebesar 15,48 m menunjukkan bahwa tekanan dalam jaringan masih memenuhi syarat minimum, yaitu lebih dari 10 m. Secara umum, profil hidrolis memperlihatkan adanya penurunan energi akibat *headloss* yang diimbangi dengan penambahan head pompa pada beberapa titik, sehingga distribusi air tetap dapat berjalan dengan tekanan yang memadai hingga ujung jaringan. Perhitungan kehilangan energi pada jaringan ini juga telah mempertimbangkan kehilangan energi minor sebesar 10% dari kehilangan energi mayor untuk mengakomodasi adanya belokan, sambungan, *valve*, dan aksesoris perpipaan lainnya.

Berdasarkan tabel perhitungan profil hidrolis, diameter pipa yang digunakan pada jaringan distribusi bervariasi antara 450 mm, 355 mm, dan 315 mm. Penggunaan diameter pipa yang berbeda disesuaikan dengan besarnya debit aliran pada masing-masing jalur distribusi. Pada segmen awal jaringan, yaitu dari reservoir hingga junction J8, digunakan diameter pipa 450 mm karena debit aliran masih relatif besar, yaitu berkisar antara 99,55–210,83 lt/det. Selanjutnya, pada jalur J8–J10 digunakan diameter 355 mm seiring menurunnya debit aliran menjadi 47,72–55,43 lt/det. Pada segmen akhir jaringan, yaitu J10–J16, diameter pipa diperkecil menjadi 315 mm karena debit distribusi semakin kecil, yaitu berkisar antara 6,85–38,46 lt/det. Penurunan diameter pipa secara bertahap dilakukan agar aliran tetap efisien dan tekanan dalam jaringan tetap terjaga.

Nilai kecepatan aliran pada jaringan distribusi berada pada rentang 0,261–1,326 m/det. Kecepatan tertinggi terjadi pada jalur R–J1 sebesar 1,326 m/det, sedangkan kecepatan terendah terjadi pada jalur J13–J14 sebesar 0,261 m/det. Secara umum, nilai kecepatan aliran masih memenuhi kriteria perencanaan SPAM, yaitu berada pada rentang 0,3–2,5 m/det, meskipun terdapat satu segmen yang sedikit berada di bawah batas minimum. Penurunan kecepatan aliran terjadi secara bertahap seiring berkurangnya debit distribusi pada setiap *junction* akibat pembagian pelayanan ke wilayah distribusi. Penggunaan diameter pipa yang lebih kecil pada bagian hilir jaringan juga membantu menjaga nilai kecepatan aliran agar tetap mendekati kriteria perencanaan dan mengurangi potensi sedimentasi dalam pipa.

Nilai koefisien C pada persamaan *Hazen-Williams* dipengaruhi oleh tingkat kekasaran permukaan bagian dalam pipa, jenis material pipa, serta umur pipa yang digunakan. Persamaan *Hazen-Williams* umumnya digunakan untuk menghitung kehilangan tinggi tekan (*headloss*) pada jaringan perpipaan dengan panjang relatif besar, seperti pada sistem penyaluran air minum [14]. Lalu pompa booster pada jaringan distribusi PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) digunakan untuk meningkatkan tekanan air, menjaga stabilitas aliran saat beban puncak, mendistribusikan air secara merata dalam sistem perpipaan agar air dapat mencapai seluruh pelanggan dengan lancar [15].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan SPAM ini, metode geometrik memiliki nilai korelasi terbesar yaitu 0,833 atau paling mendekati 1 dibandingkan metode lainnya, sehingga dipilih sebagai metode proyeksi penduduk. Metode geometrik mengasumsikan pertumbuhan penduduk berlangsung secara terus-menerus dengan laju pertumbuhan yang relatif tetap setiap tahun.

Diketahui bahwa total kebutuhan air domestik dan non domestik pada proyeksi perencanaan 20 tahun di wilayah studi mencapai 210,83 L/detik. Perhitungan dilakukan dengan asumsi setiap KK terdiri dari 5 orang serta target pelayanan sebesar 50% dari total penduduk Kecamatan Kebonsari. Pada perencanaan ini, pengembangan pelayanan diprioritaskan pada wilayah dengan kepadatan penduduk yang mudah dijangkau dan berada di sepanjang jalan utama.

Dari hasil perencanaan ini, bahwa sistem distribusi air mampu mengalirkan air hingga ujung jaringan dengan tekanan yang masih memenuhi syarat minimum. Penurunan nilai HGL akibat kehilangan energi sepanjang pipa dapat diatasi melalui penambahan head pompa pada titik tertentu, sehingga sisa tekan tetap berada di atas 10 m. Selain itu, penggunaan variasi diameter pipa yang disesuaikan dengan debit aliran turut membantu menjaga kestabilan tekanan dalam jaringan. Dengan demikian, sistem distribusi yang direncanakan dinilai masih layak dan efektif untuk melayani wilayah perencanaan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Pambudi, Andi Setyo. "Sinkronisasi Perencanaan Pembangunan Top-Down dan Bottom-Up Tentang Pembangunan Air Minum." *Jurnal Ilmiah Wahana Bhakti Praja* 12.1 (2022): 23-43.
- [2] L. Arsyina, B. Wispriyono, I. Ardiansyah, and L. D. Pratiwi, "Hubungan Sumber Air Minum dengan Kandungan Total Coliform dalam Air Minum Rumah Tangga," *J. Kesehat. Masy. Indones.*, vol. 14,

- no. 2, p. 18, 2019, doi: 10.26714/jkmi.14.2.2019.18-23.
- [3] A. Purnama, "Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Untuk Perumahan Baiti Jannati Sumbawa," *J. Ris. Kaji. Tektologi dan Lingkung.*, vol. 1, no. 1, pp. 40–51, 2018.
 - [4] A. Setiawan, E. Riyanto, and H. S. Nugroho, "Analisis Kebutuhan Air Bersih Dan Kinerja Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih," *Surya Bet. J. Ilmu Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 69–80, 2024, doi: 10.37729/suryabeton.v8i1.4818.
 - [5] A. R. Shidiq, R. Riduan, and C. Abdi, "Perencanaan Sistem Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Dan Evaluasi Reservoir Di Kecamatan Bumi Makmur Dan Kecamatan Kurau," *Jernih J. Tugas Akhir Mhs.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2020, doi: 10.20527/jernih.v2i2.587.
 - [6] Badan Pusat Statistik Kabupaten Madiun, "Kecamatan Kebonsari Dalam Angka 2019," *Kec. Kebonsari Dalam Angka*, 2019.
 - [7] P. K. Swamee and A. K. Sharma, "Gravity flow water distribution system design," *J. Water Supply Res. Technol. - AQUA*, vol. 49, no. 4, pp. 169–179, 2000, doi: 10.2166/aqua.2000.0015.
 - [8] B. S. Budianto, "Aplikasi Sistem Inforasi Geografis (SIG) pada Sistem Penyediaan Air Bersih," *Potensi J. Sipil Politek.*, vol. 12, no. 1, pp. 52–61, 2010.
 - [9] S. C. Astiti, "Penerapan Metode Least Square Dalam Perhitungan Proyeksi Jumlah Penduduk," *Sepren*, vol. 4, no. 02, pp. 147–154, 2023.
 - [10] V. Noperissa and R. S. B. Waspodo, "Analisis Kebutuhan dan Ketersediaan Air Domestik Menggunakan Metode Regresi di Kota Bogor," *J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 3, no. 3, pp. 121–132, 2018, doi: 10.29244/jsil.3.3.121-132.
 - [11] Mahendra, Jupria, and Any Nurhasanah. "Perancangan Sistem Jaringan Perpipaan Distribusi Air Bersih di Desa Sukaraja Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung Menggunakan Aplikasi EPANET 2.0." *Jurnal Teknik Sipil Bandar Lampung* 13.1 (2022): 492445.
 - [12] Astani, Lidwina Putri, Intan Supraba, and Rachmad Jayadi. "Analisis Kebutuhan Air Domestik Dan Non Domestik Di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta." *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi* 5.2 (2022): 34-41.
 - [13] Jama, Rofinus, Reza Wahyudi, and Weli Zuandi. "Evaluasi Sistem Distribusi Air Minum PDAM Tirta Pancur Aji SPAMIKK Projal Kelurahan Bunut Kabupaten Sanggau." *Jurnal Teknologi Infrastruktur* 2.2 (2022): 27-37.
 - [14] Utama, Teguh Taruna, and Amelia Zumrotin. "Optimization Pressure of Water Distribution Network System of the Banjarsari Water Treatment Plant, PDAM Bojonegoro." *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology* 2.1 (2022): 34-44.
 - [15] A. H. Setiyono, S. Arfaah, and R. Hidayat, "Optimalisasi Tekanan Air Menggunakan Pompa Booster di Desa Jati Banjar Kecamatan Ploso," *J. Pendidik. Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 4, pp. 335–339, 2025.