

Cek Turnitin SM

MRS 150425_Template JIL.docx

-  My Files
-  My Files
-  University

Document Details

Submission ID**trn:oid:::17268:91622071****Submission Date****Apr 17, 2025, 10:17 AM GMT+5:30****Download Date****Apr 17, 2025, 10:18 AM GMT+5:30****File Name****MRS 150425_Template JIL.docx****File Size****3.1 MB****18 Pages****8,089 Words****48,322 Characters**

16% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography

Top Sources

- 15%  Internet sources
- 4%  Publications
- 9%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 15% Internet sources
- 4% Publications
- 9% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	core.ac.uk	3%
2	Internet	ejurnal.itenas.ac.id	2%
3	Internet	pdfs.semanticscholar.org	2%
4	Submitted works	Universitas Amikom on 2020-12-19	1%
5	Internet	repository.its.ac.id	1%
6	Internet	eprints.unmas.ac.id	<1%
7	Internet	repository.unand.ac.id	<1%
8	Internet	ejournal.undip.ac.id	<1%
9	Internet	conferences.unusa.ac.id	<1%
10	Internet	pdfcoffee.com	<1%
11	Internet	ppjp.ulm.ac.id	<1%

12	Internet	eproceeding.itenas.ac.id	<1%
13	Internet	bennysyah.edublogs.org	<1%
14	Submitted works	Universitas Diponegoro on 2020-01-20	<1%
15	Internet	ejurnal.its.ac.id	<1%
16	Submitted works	University of Adelaide on 2018-10-27	<1%
17	Submitted works	Universitas Pancasila on 2021-06-21	<1%
18	Submitted works	Universitas Islam Bandung on 2022-01-20	<1%
19	Internet	jurnalsaintek.uinsby.ac.id	<1%
20	Internet	text-id.123dok.com	<1%
21	Submitted works	Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia on 2015-03-20	<1%
22	Submitted works	Lambung Mangkurat University on 2017-07-20	<1%
23	Submitted works	Universitas Sebelas Maret on 2022-01-18	<1%
24	Internet	journals.umkt.ac.id	<1%
25	Internet	dspace.uii.ac.id	<1%

26	Submitted works	iGroup on 2015-07-06	<1%
27	Internet	journals.itb.ac.id	<1%
28	Submitted works	Institut Teknologi Nasional Malang on 2021-04-23	<1%
29	Publication	Irvan Septyan Mulyana. "ANALISIS ALIRAN UDARA PADA PIPA KOMPOR BURNER",...	<1%
30	Submitted works	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya on 2017-10-20	<1%
31	Submitted works	Universitas Jenderal Soedirman on 2022-05-22	<1%
32	Submitted works	Universitas Muhammadiyah Buton on 2024-07-05	<1%
33	Submitted works	Universitas Pendidikan Indonesia on 2023-04-03	<1%
34	Submitted works	University of Sheffield on 2021-02-17	<1%
35	Internet	ejournal.umm.ac.id	<1%
36	Internet	ejurnal.politeknikpratama.ac.id	<1%
37	Internet	eprints.uny.ac.id	<1%
38	Internet	es.scribd.com	<1%
39	Internet	id.scribd.com	<1%

40	Internet	jist.publikasiindonesia.id	<1%
41	Internet	jurnal.poltekkes-kemenkes-bengkulu.ac.id	<1%
42	Internet	repository.radenintan.ac.id	<1%
43	Internet	scholar.unand.ac.id	<1%
44	Internet	www.kanalkalimantan.com	<1%
45	Internet	www.locjkt.or.id	<1%
46	Internet	repository.unhas.ac.id	<1%

Perencanaan Jaringan Distribusi SPAM Gedebage Kota Bandung Untuk Pemanfaatan Air Minum Dari IPA Cikalong

Mohamad Rangga Sururi¹, Mila Dirgawati¹, dan Muhammad Husni Kusaeri¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia; e-mail: rangga@itenas.ac.id

ABSTRAK

PERUMDA Tirtawening merencanakan program peningkatan pelayanan air minum wilayah zona Gedebage dengan membangun Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Cikalong berkapasitas 700 liter/detik. Namun hingga saat ini debit yang dimanfaatkan baru sebanyak 400 liter/detik. Tujuan perencanaan ini adalah memanfaatkan sisa debit dari SPAM Gedebage ke Kecamatan Kiaracondong dan Antapani (wilayah pelayanan 3), memprediksi sisa klorin untuk menjaga kualitas air pada jaringan pipa. Pada tahap pra perencanaan dilakukan simulasi alternatif pemanfaatan pipa eksisting untuk menganalisis kemampuannya menahan tekanan air dari IPA Cikalong dengan mengalihfungsikan pipa transmisi IPA Cikalong-IPA Badaksinga berdiameter 850mm menjadi pipa Jaringan Distribusi Utama (JDU). Pada tahap perencanaan terdapat dua alternatif optimalisasi yaitu seluruh pipa eksisting diganti dengan jenis pipa HDPE PN 10, namun dengan alternatif: (1) menggunakan diameter pipa eksisting yang sama dengan sebelumnya, dan (2) dilakukan penggantian diameter pipa yang lebih besar di wilayah perencanaan. Alternatif perencanaan terbaik dipilih menggunakan metode WRT (Weight Ranking Technique), parameter yang ditinjau yaitu tekanan minimum, tekanan maksimum, kecepatan minimum, kecepatan maksimum, hilang tekan dan jumlah aksesoris. Selanjutnya dilakukan simulasi penurunan sisa klorin dilakukan pada alternatif terpilih. Hasil simulasi pra-perencanaan terdapat ketidaksesuaian dengan kriteria desain seperti tekanan terlalu tinggi (156,72 meter), kecepatan terlalu rendah (0,06 meter/detik), dan hilang tekan yang terlalu tinggi (39,09 meter/kilometer). Kondisi ini sangat rawan, terlebih umur pipa transmisi yang sudah lebih dari 50 tahun. Alternatif terpilih yaitu alternatif dua, dan hasil simulasi dengan EPANET 2.2 menunjukkan sisa khlor menurun seiring dengan peningkatan jarak dari reservoir. Pada alternatif terpilih diketahui sisa klorin akan menurun secara drastis pada menit ke 550,24.

Kata kunci: Air Minum, SPAM, Jaringan Distribusi, EPANET 2.2, Hidrolis, Sisa Khlor.

ABSTRACT

PERUMDA Tirtawening has a plan to improve drinking water services in the Gedebage zone area by building a 700 liter/second Cikalong water treatment plant (WTP). However, until now only 400 liters/second have been utilized. The purpose of this planning is to utilize the remaining discharge from the Gedebage SPAM to Kiaracondong and Antapani Districts (service area 3), predicting chlorine residue to maintain water quality in the pipe network. At the pre-planning stage, an alternative simulation of the use of existing pipes was carried out to analyze their ability to withstand water pressure from the Cikalong IPA by converting the Cikalong IPA-Badaksinga IPA transmission pipe with a diameter of 850mm into the Main Distribution Network (JDU) pipe. At the planning stage, there are two optimization alternatives, namely all existing pipes are replaced with HDPE PN 10 pipes, but with the alternatives: (1) using the existing pipe diameter, and (2) replacing the larger pipe diameter in the planning area. The best planning alternative is selected using the WRT (Weight Ranking Technique) method, with parameters of minimum pressure, maximum pressure, minimum velocity, maximum velocity, headloss and number of accessories. Furthermore, the simulation of chlorine residual reduction is carried out on the selected alternative. The simulation results in the pre-planning show that there is a discrepancy with the design criteria such as too high pressure (156.72 meters), too low velocity (0.06 meters/second), and too high headloss (39.09 meters/kilometer). This condition is very risky, especially since the pipe is more than 50 years old. The selected alternative is alternative two, and the simulation results with EPANET 2.2 show that chlorine residual decreases as the distance from the reservoir increases. In the selected alternative, it is known that chlorine residual will decrease drastically at minute 550.24.

Keywords: Drinking Water, SPAM, Distribution Network, EPANET 2.2, Hydraulic, Chlorin.

Citation: Sururi, M.R., Dirgawati, M., dan Kusaeri, M. H. (2025). Perencanaan Jaringan Distribusi SPAM Gedebage Kota Bandung Untuk Pemanfaatan Air Minum Dari IPA Cikalong. Jurnal Ilmu Lingkungan, xx(x), xx-xx, doi:10.14710/jil.xx.x.xxx-xx

1. Pendahuluan

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 tahun 2015 menyatakan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) diselenggarakan untuk memenuhi ketersediaan air minum guna memenuhi hak rakyat atas pelayanan air minum yang berkualitas. Salah satu komponen penting dalam SPAM adalah jaringan perpipaan distribusi yang berfungsi untuk mengalirkan air minum dari reservoir dan atau sumber ke ke pelanggan (Sukmawardani *et al*, 2020). Pada perkembangannya pengelola air minum kabupaten/kota dengan adanya SPAM regional, justru lebih berat pada pengelolaan sistem distribusi. PERUMDA Tirtawening sebagai pengelola air minum di kota Bandung memiliki darah pelayanan salah satunya di wilayah pelayanan Gedebage. Pelayanan SPAM Gedebage hingga tahun 2017 baru mencapai 20,57%, melayani sebanyak 58.640 jiwa dari 285.681 jiwa (PERUMDA Tirtawening, 2023). Wilayah pelayanan Gedebage melayani kecamatan Buahbatu, Kecamatan Batununggal, Kelurahan Bandung Kidul, Kelurahan Margasari, dan Kelurahan Cijawura. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bandung Tahun 2011-2031, menyatakan wilayah Gedebage sebagai Pusat Pelayanan Kota (PPK), artinya memiliki fungsi yang sama dengan wilayah alun-alun Kota Bandung. Masih rendahnya pelayanan air minum di wilayah Gedebage akibat keterbatasan jaringan perpipaan menjadi masalah serius karena kebutuhan air minum di wilayah ini senantiasa mengalami peningkatan.

Sejak tahun 2018 PERUMDA Tirtawening merencanakan program untuk peningkatan pelayanan air minum di pelayanan wilayah Gedebage melalui SPAM Regional dari IPA Cikalong. Debit pelayanan SPAM regional ke wilayah ini hingga tahun 2024 direncanakan sebesar 700 L/detik untuk melayani 50.000 SL. Pada perencanaan tersebut SPAM Gedebage baru mampu menyerap 400 liter/detik dari total 700 liter/detik, sehingga terdapat debit yang belum termanfaatkan sebanyak 300 liter/detik. Hingga saat ini, debit 300 liter/detik belum dapat dialirkan ke wilayah zona SPAM Gedebage karena jaringan distribusi masih belum tersedia. Debit yang belum termanfaatkan tersebut direncanakan dialihkan ke wilayah pelayanan eksisting di sebelah utara batas administrasi wilayah zona SPAM Gedebage, yaitu ke wilayah pelayanan 3 tepatnya Kecamatan Antapani dan Kiaracondong yang selama ini dilayani oleh IPA Badaksinga Tirtawening Kota Bandung. Alasan pengalihan debit ke wilayah tersebut cukup kuat karena sebetulnya pelayanan dari IPA Badaksinga sudah tidak maksimal melayani wilayah pelayanan 3 (PERUMDA Tirtawening, 2023). Jarak yang cukup jauh antara SPAM Badaksinga dengan wilayah pelayanan 3, serta beban pelayanan eksisting SPAM tersebut yang melayani wilayah pelayanan 1 (Kota Bandung Wilayah Timur dan Barat), dan pelayanan 2 (Kota Bandung Wilayah Utara), menyebabkan pelayanan ke wilayah pelayanan 3

tidak dapat dilakukan secara maksimal. Namun demikian besaran debit maksimal yang dibutuhkan untuk melayani wilayah pelayanan 3 belum diketahui secara pasti.

Sistem jaringan perpipaan distribusi dalam sub sistem SPAM menjadi objek yang selalu mendapat perhatian dalam penyelenggaraan SPAM di suatu daerah. Air yang didistribusikan harus bisa memenuhi kebutuhan air minum dan menjamin kepastian kualitas, kuantitas, dan kontinuitas (3K) (Peraturan Pemerintah, 2015). Potensi degradasi kualitas air minum yang sudah aman pada sistem distribusi sangatlah tinggi, terlebih persentase kehilangan air minum Kota Bandung cukup tinggi mencapai 45,79%, melebihi standar sebesar 30% (PERUMDA Tirtawening, 2023). Selanjutnya, permasalahan tersebut menyebabkan air minum yang disalurkan dari IPA Badaksinga menuju pelanggan wilayah zona Gedebage tidak memenuhi standar kontinuitas, yaitu aliran air minum yang diterima pelanggan tidak mengalir 24 jam per hari. Saat ini pelanggan di wilayah zona Gedebage baru bisa mendapatkan aliran air minum hanya pada saat jam tertentu pada saat *non-peak*, umumnya sekitar pukul 03.00 dan 16.00.

Kinerja jaringan distribusi air minum, perlu melibatkan evaluasi efisiensi dan efektivitas sistem, pemodelan simulasi jaringan. Pemodelan simulasi menggunakan *software* EPANET telah menjadi salah satu metode yang dapat diterima untuk digunakan (Gunawan *et al*, 2022). EPANET tidak hanya dapat memberikan gambaran tentang status *real-time* sistem distribusi air minum (Agunwamba *et al*, 2018), tetapi bisa juga dapat menjadi peran penting dalam perencanaan dan peningkatan kinerja hidrolik sistem. Selain itu, EPANET dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran melalui metode berbasis model dengan memanfaatkan pemantauan kriteria hidrolis dalam jaringan distribusi (Venkata Ramana, 2016).

Berdasarkan permasalahan diatas, maka diperlukan estimasi kebutuhan di wilayah pelayanan 3, serta simulasi pemanfaatan jaringan distribusi eksisting serta perencanaan sistem distribusi yang baru untuk memenuhi aspek kuantitas dan kontinuitas. Penggunaan pipa eksisting harus dievaluasi karena umur pipa yang sudah cukup lama, kemampuannya untuk menahan tekanan air minum yang di alirkan dari IPA Cikalong harus diketahui dengan pasti. Hasil simulasi tersebut akan dibandingkan dengan kriteria desain yang tercantum dalam Permen PUPR No. 27 Tahun 2016 sebagai standar untuk dilakukan perbaikan jaringan distribusi eksisting. Terlebih Peraturan Walikota Bandung Nomor 3 Tahun 2019 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Tahun 2018-2023, menargetkan angka kehilangan air akan diturunkan secara bertahap menjadi 30% sampai tahun 2023 (RPJMD Kota Bandung, 2019). Kondisi tersebut semakin meyakinkan bahwa pengelolaan SPAM Gedebage harus ditingkatkan.

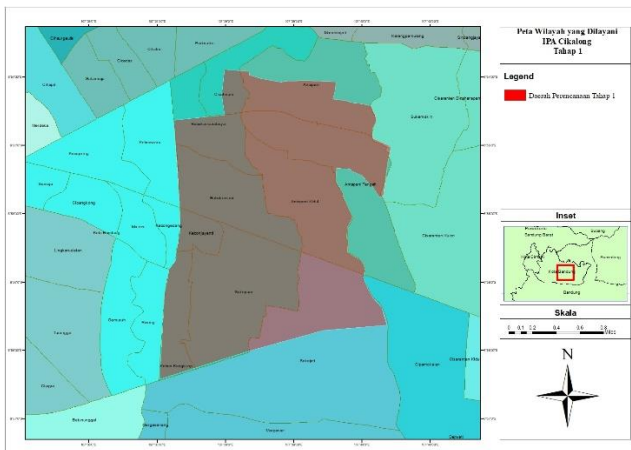
1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari studi ini adalah mensimulasikan kemampuan pipa eksisting serta merencanakan jaringan pipa distribusi wilayah Antapani dan Kiaracandong (Pelayanan Wilayah 3) yang akan dilayani SPAM Gedebage. Studi ini juga mengidentifikasi parameter hidrolis pada pengalihan fungsi pipa transmisi berdiameter 850 mm menjadi pipa Jaringan Distribusi Utama (JDU) serta melakukan perencanaan jaringan distribusi untuk melayani wilayah pelayanan 3.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

IPA Cikalong dibangun untuk melayani wilayah zona Gedebage dengan kapasitas 700 liter/detik, salah satu cara yang diupayakan oleh PERUMDA Tirtawening yaitu mengalihfungsikan pipa transmisi eksisting yang berdiameter 850 mm menjadi pipa Jaringan Distribusi Utama (JDU) untuk melayani wilayah pelayanan Gedebage. Pada tahap awal debit yang direncanakan baru dapat menyerap sebanyak 400 liter/detik dan sisa debit sebanyak 300 liter/detik belum dapat dialirkan ke wilayah zona Gedebage. Debit yang belum termanfaatkan tersebut direncanakan disalurkan ke wilayah pelayanan eksisting di sebelah utara batas administrasi wilayah zona Gedebage, yaitu ke daerah Kecamatan Kiaracandong dan Kecamatan Antapani melalui pipa transmisi yang dicoba diptimalisasi menjadi pipa distribusi (Gambar 2 dan 3). Peta lokasi studi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta wilayah yang dilayani IPA Cikalong tahap 1

2.2. Tahap Pra Perencanaan

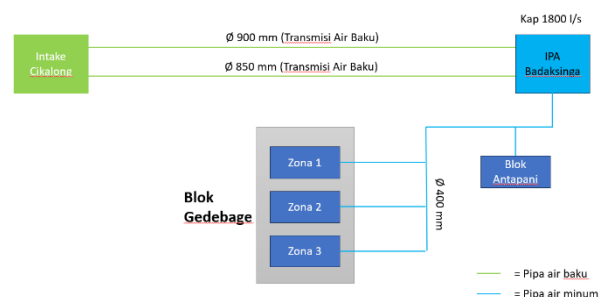
2.2.1. Penentuan kuantitas Air

Data yang dibutuhkan pada tahap pra perencanaan berupa Daftar Rekening yang Ditagihkan (DRD), data teknis pipa, debit air, peta jaringan, dan sambungan langganan yang didapat dari PERUMDA Tirtawening. Pada tahap ini akan dihitung debit yang dapat dialirkan ke wilayah pelayanan 3 yang direncanakan akan dilayani SPAM Gedebage dengan memanfaatkan pipa eksisting.

2.2.2. Pengecekan kondisi pipa eksisting

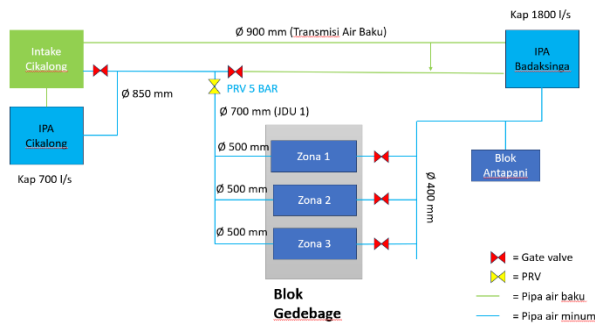
Pengecekan kondisi pipa eksisting di wilayah perencanaan ini dilakukan untuk mengecek kondisi pipa eksisting dari segi umur pipa yang akan dianalisis apakah pipa tersebut sanggup menahan tekanan air dari IPA Cikalong, atau perlu dilakukannya peremajaan pipa dan perubahan ukuran diameter pipa. Selain itu, kekasaran pipa ditinjau dari jenis pipa eksisting. Analisis ini perlu dilakukan untuk mengetahui apakah pipa eksisting masih sanggup untuk menahan tekanan air minum yang dialirkan dari IPA Cikalong.

Diketahui umur pipa transmisi Perumda Tirtawening sekitar 65-90 tahun (AWWA, 2012), sudah dibangun sejak zaman penjajahan Belanda. Kondisi pipa yang sudah tua lebih rentan terhadap kebocoran dan kontaminasi dapat mudah terjadi, tantangan ini menjadi semakin serius di negara berkembang dimana pemeliharaan infrastruktur sistem distribusi masih kurang karena sumber daya yang tidak memadai. Tingkat kehilangan air (sebagai persentase dari air yang disalurkan) untuk negara berkembang adalah 25-45% (AWWA, 2012). Selain itu, material yang terakumulasi dalam sistem distribusi berkembang seiring berjalannya waktu. Semakin tua usia pipa maka semakin besar akumulasi material berupa kerak pipa dan endapan yang lepas (Venkata Ramana *et al*, 2016). Gambar 2 menunjukkan pipa transmisi IPA Cikalong diameter 850 mm dicek kemungkinannya untuk dialihfungsikan menjadi pipa Jaringan Distribusi Utama (JDU).



Gambar 2. Skema jaringan distribusi awal

Skema awal seperti terlihat di Gambar 2, pada garis hijau (diameter 900 mm dan 850 mm) menggambarkan jaringan distribusi ketika pendistribusian air baku dari intake Cikalong ke IPA Badaksinga. Setelah air baku diproses melalui IPA Badaksinga, garis biru menggambarkan air tersebut dialirkan dengan pipa diameter 400 mm melalui Jaringan Distribusi Utama (JDU) ke wilayah pelayanan timur seperti Blok Antapani dan Blok Gedebage.



Gambar 3. Skema jaringan distribusi setelah dibangun SPAM Gedebage

Sejak Tahun 2017, PERUMDA Tirtawening merencanakan penambahan suplai air minum khusus wilayah Gedebage dengan membangun IPA Cikalong dengan kapasitas debit sebesar 700 liter/detik, sehingga merubah skema jaringan distribusi air minum menjadi seperti di Gambar 3. Kondisi pada gambar tersebut merupakan kondisi pemanfaatan pipa eksisting yang akan di cek pada perencanaan ini untuk pelayanan wilayah Gedebage. Tujuan dipasangnya *gate valve* yaitu supaya air tidak mengalir ke jaringan pipa ke arah badak singa. Selain itu, dipasangnya PRV (*Pressure Reducer Valve*) untuk mengurangi tekanan supaya tidak melebihi tekanan yang diatur, misalnya seperti pada gambar set PRV 5 bar, sehingga jika tekanan air sebesar 80 meter, setelah melewati *valve* tekanan akan menjadi 50 meter. Diameter pipa yang dipasang semakin dekat dengan wilayah pelayanan akan semakin kecil, upaya tersebut dilakukan supaya tekanan dan kecepatan pada air minum yang dialirkan bisa tetap stabil.

2.2.1. Simulasi hidrolis

Simulasi hidrolis dilakukan untuk mengetahui bagaimana kriteria desain dari jaringan distribusi eksisting seperti tekanan, kecepatan dan *headloss* apakah memenuhi standar atau tidak. Maka dari itu, *software* EPANET 2.2 digunakan sebagai pernakat untuk dilakukannya simulasi hidrolis. Kebutuhan data pada langkah ini berupa diameter pipa, panjang pipa dan jenis pipa untuk mengetahui nilai koefisien kekasaran pipa pada data *link* (pipa) di program EPANET 2.2, data penunjang untuk data *node* atau *junction* kali ini menggunakan data pemakaian air dari DRD PERUMDA Tirtawening tahun 2023 dan elevasi muka tanah Kota Bandung. Selain data *link* dan *node*, terdapat juga data pola pemakaian air yang digunakan sebagai *demand pattern* yang digunakan sebagai acuan terjadinya pengaliran pada jam puncak. Setelah dilakukannya simulasi, maka dilakukan penyesuaian mengenai kriteria desain hidrolis seperti sisa tekan, kecepatan dan kehilangan tekanan (*headloss*) pada jaringan distribusi. Formula yang dibutuhkan pada simulasi merupakan formula Hazen-Wiliam sebagai berikut (Twort *et al*, 1994).

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2.63} \times \left(\frac{hf}{L}\right)^{0.54} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana Q adalah Debit air yang mengalir (meter³/detik), C adalah Koefisien Hazen William, Hf merupakan Kehilangan tekanan (meter kolom air) dan L adalah Panjang pipa (meter). Setelah dilakukannya simulasi, lalu dilakukan penyesuaian dengan Permen PUPR No. 27 Tahun 2016 berupa:

- sisa tekan 10–80 meter, sisa tekan perlu dipantau sampai memenuhi kriteria desain supaya suplai air dapat memenuhi kebutuhan pelanggan sampai ke daerah pelayanan terjauh;
- kecepatan pada pipa 0,3-3,0 meter/detik, kecepatan pada pipa dipantau sebagai upaya dalam memelihara pipa. Kecepatan minimum diupayakan tidak melebihi kriteria desain supaya tidak terjadi endapan di dalam pipa, dan kecepatan maksimum diupayakan tidak melebihi batas kriteria desain karena dapat menyebabkan pipa pecah;
- Hilang tekan (*headloss*) < 10 m/km, faktor dari hilangnya tekanan dalam jaringan distribusi adalah hilangnya energi didalam jaringan, maka perlu dipantau sebagai upaya energi dalam jaringan distribusi tidak hilang selama pengaliran.

Selanjutnya simulasi EPANET juga dilakukan pada pipa eksisting tanpa adanya perubahan pipa. Hal ini dilakukan untuk mengecek kemungkinan yang paling praktis dilakukan untuk membantu pelayan wilayah 3 oleh SPAM Gedebage.

2.3. Tahap perencanaan

2.3.1. Alternatif jaringan dan optimalisasi jaringan distribusi

Optimalisasi jaringan distribusi dilakukan melalui pergantian diameter pipa (Nugroho *et al*, 2018). Seperti digunakannya Bak Pelepas Tekanan (BPT) jika sisa tekan pada wilayah pelayan terdapat air yang sangat besar (Nugraha *et al*, 2008). Selain digunakannya BPT, *Pressure Reducing Valve* (PRV) dapat juga diupayakan supaya untuk wilayah yang terdapat sisa tekan melebihi kriteria desain (Nuartha *et al*, 2016). Tekanan berlebih perlu diperhatikan karena dapat merusak pipa distribusi, dimana pipa-pipa dapat menyebabkan kebocoran sehingga presentase kebocoran meningkatkan di dalam jaringan distribusi, maka dari itu PRV dan BPT perlu digunakan sebagai upaya mengatur tekanan berlebih (Saparina, 2017). Selain itu bisa juga dilakukan dengan mengganti ukuran diameter pipa supaya pengaliran air lebih optimal.

Setelah dilakukannya pembangunan IPA Cikalong yang dikhususkan SPAM Gedebage, pelayanan wilayah Blok Gedebage sudah tidak menerima suplai air minum dari IPA Badaksinga, sehingga aliran air menuju wilayah Gedebage ditutup menggunakan *gate valve*. Pengaliran air minum ke wilayah pelayanan dari IPA Cikalong, pipa transmisi dengan diameter 850 mm dialihfungsikan menjadi IDU. Alternatif satu dalam upaya untuk mengoptimalkan jaringan distribusi utama

merupakan perencanaan jaringan yang mengganti seluruh jenis pipa eksisting dengan jenis pipa dengan pipa HDPE PN 10. Alternatif satu dilakukan tanpa ada perubahan diameter pipa eksisting, sementara alternatif dua dilakukan perubahan diameter pipa.

2.3.2. Penentuan alternatif jaringan terpilih

Alternatif jaringan distribusi air minum yang direncanakan dibuat lebih dari satu, maka metode *Weighted Ranking Technique* (WRT) perlu dilakukan guna dilakukannya pemilihan alternatif terpilih. Parameter yang digunakan yaitu kriteria hidrolis seperti tekanan minimum dan maksimum, kecepatan minimum dan maksimum, *headloss*, dan jumlah aksesoris. Metode pembobotan atau yang sering dikenal sebagai metode *Weighted Ranking Technique* (WRT) adalah metode yang memberikan nilai terhadap parameter yang dibandingkan, sehingga nilainya yang didapat berupa nilai kuantitatif (Nugraha *et al*, 2017). Parameter-parameter yang akan dibandingkan dalam metode pemilihan alternatif sebagai berikut:

1. Sisa tekan minimum

Jika tekanan yang terdapat dalam jaringan perpipaan air minum lebih kecil dari 10 m, maka dikhawatirkan air tidak akan dapat dialirkan dengan baik kepada daerah pelayanan yang telah direncanakan karena rata-rata tinggi rumah berlantai dua yaitu 7 m sampai dengan 10 m.

2. Sisa tekan maksimum

Jika tekanan yang terdapat dalam jaringan perpipaan air minum lebih dari 100 m, maka dikhawatirkan akan terjadi *stress* pada pipa sehingga akan mengakibatkan pecahnya pipa.

3. Kecepatan minimum

Jika kecepatan minimum yang terdapat dalam jaringan perpipaan lebih kecil dari 0,3 m/detik, maka dapat menyebabkan stagnasi air, penumpukan sedimen, dan pertumbuhan bakteri dalam pipa.

4. Kecepatan maksimum

Jika kecepatan pipa lebih dari 3,0 m/detik dapat menyebabkan masalah seperti *headloss* dan *water hammer* yaitu merupakan fenomena dimana lonjakan tekanan tiba-tiba terjadi dalam pipa yang dapat merusak sistem perpipaan

5. *Headloss*

Jika *headloss* lebih besar dari 10 m/km, dikhawatirkan sisa tekan pada titik terjauh pipa tidak akan mencapai 10 m dikarenakan terlalu banyaknya tekanan yang hilang saat air mengalir sehingga menimbulkan masalah ketersediaan air di titik terjauh.

6. Jumlah aksesoris

Semakin sedikit jumlah aksesoris yang dikeluarkan untuk alternatif optimalisasi jaringan distribusi maka semakin tinggi nilai efisiensi perencanaan tersebut.

2.3.2.1. Penentuan nilai koefisien pentingnya faktor (KPF)

Langkah awal dalam metode WRT yaitu dengan memberikan nilai pada setiap parameter yang digunakan, nilai tersebut merupakan nilai Koefisien

Pentingnya Faktor (KPF). Nilai Koefisien Penting Faktor (KPF) ditentukan berdasarkan setiap parameter dengan kaidah memberikan bobot pada setiap parameter yang didasarkan pada pentingnya setiap faktor dalam upaya pengambilan keputusan. Selanjutnya nilai yang diberikan pada parameter yang dibandingkan adalah (Babbitt, 1962) (Saputra & Juwana, 2023):

Parameter tidak penting dipertimbangkan = 0

Parameter sama penting dipertimbangkan = 0,5

Parameter lebih penting dipertimbangkan = 1

Untuk melihat proses penilaian yang telah dilakukan, maka diperlukan perhitungan sebagai berikut (Taufik, 2015):

$$\text{Jumlah Kolom} = \frac{N(N-1)}{2} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana N adalah Jumlah parameter pembanding

2.3.2.2. Penentuan nilai koefisien pemilihan alternatif (KPA)

Langkah selanjutnya merupakan penentuan nilai Koefisien Pemilihan Alternatif (KPA). Dalam menentukan koefisien pemilihan alternatif (KPA) perlu dilakukan dengan memberi nilai pada setiap alternatif terhadap kriteria desain. Pada salah satu alternatif jika memenuhi kriteria diberi nilai 1 dan jika salah satu alternatif tidak memenuhi kriteria diberi nilai 0.

2.4. Sisa khlor

Sisa khlor di sistem distribusi sesuai standar baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, konsentrasi sisa khlor perlu dijaga pada 0,2 sampai 0,5 mg/L dengan waktu kontak 30 menit sebagai upaya melindungi air dari kontaminasi setelah pengolahan. Jika sisa khlor yang terdapat kurang dari 0,2 mg/L pada air yang berhubungan dengan kemampuan desinfeksi dari desinfektan, maka kemampuan dari desinfektan akan berkurang sehingga dapat menimbulkan jumlah patogen dalam air meningkat. Sedangkan jika sisa khlor lebih dari 0,5 mg/l pada air, dapat menyebabkan sifat toksik dan karsinogenik pada konsumen.

2.4.1 Prediksi penurunan konsentrasi sisa khlor

Dalam peluruhan klorin dalam EPANET biasanya direpresentasikan sebagai model peluruhan orde pertama, yang sering dilambangkan dengan koefisien 1 dalam konteks laju peluruhan. Hal ini karena peluruhan massal klorin dalam sistem distribusi air biasanya dimodelkan menggunakan kinetika orde pertama, di mana laju peluruhan berbanding lurus dengan konsentrasi klorin yang ada dalam sistem. Pengaruh dari menurunnya sisa khlor terdapat tiga variabel, yaitu konsentrasi sisa khlor, jarak tempuh dan waktu tempuh. Seperti pada persamaan berikut:

$$\frac{(-dc)}{kc} = \frac{dx}{v} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana v adalah Kecepatan (meter/detik), x adalah Jarak tempuh (meter), dan k adalah konstanta penurunan.

Jika diintegrasikan, sebagai berikut:

$$\int_{C_0}^{C_e} \frac{dc}{kc} = \int_0^L \frac{dx}{v} \quad (4)$$

$$\frac{1}{k} \ln \left(\frac{C_0}{C_e} \right) = \frac{L}{v} \quad (5)$$

$$\ln C_e = \ln C_0 - \left(\frac{k}{v} \right) L \quad (6)$$

Dimana C_e adalah Konsentrasi sisa khlor pada jarak tertentu (mg/L), C_0 adalah Konsentrasi sisa khlor pada $t = 0$ (mg/L), K adalah Konstanta penurunan (-0,000027), V adalah Kecepatan aliran (meter/detik), dan L adalah Jarak aliran (meter). Konstanta penurunan didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Hassan, 2014 yaitu sebesar -0,000027. representasi peluruhan klorin sebagai proses orde pertama dengan koefisien 1 dalam plot Rossman merupakan pendekatan yang umum dan praktis dalam pemodelan peluruhan klorin menggunakan EPANET.

Perlu diketahui menurut Hermiyati (2017), semakin jauh jarak distribusi air maka tingkat kontaminasi akan semakin tinggi. Begitupun menurut Widiastuti (2017) bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara jarak distribusi dan *coliform*. Semakin jauh jarak pengaliran air maka konsentrasi sisa khlor pun akan menurun, sehingga tidak ada yang menjaga kualitas air dari kontaminasi selama perjalanan distribusi.

2.4.2. Waktu tempuh konsentrasi sisa khlor

Sisa khlor di pipa air minum akan mengalami penurunan dikarenakan (Yani dan Roosmini, 2008):

1. Panjang pipa dan lama waktu kontak khlor dengan air minum yang dialirkan ke konsumen. Hal ini disebabkan sisa khlor bereaksi dengan senyawa-senyawa lain (korosi pada pipa)
2. Banyaknya aksesoris pada pipa, semakin banyak aksesoris maka semakin banyak juga belokan pada pipa distribusi yang menyebabkan turbulen dan menyebabkan sisa khlor berkurang.

Besar konsentrasi sisa khlor sesuai prediksi melalui simulasi EPANET 2.2. Penurunan konsentrasi ini diakibatkan selama sisa khlor yang terkandung dalam air mengalami kontak dengan mikroorganisme yang ada pada air dan kontak dengan dinding pipa.

Pada prediksi kali ini dilakukan perhitungan waktu tempuh (t) sisa khlor terlebih dahulu untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan pada sisa khlor berkurang dari titik awal ke titik selanjutnya. Pada perhitungan ini dipengaruhi oleh panjang pipa dan kecepatan aliran dalam pipa yang menjadi fenomena kinetik dari sisa khlor. Formula yang digunakan untuk mengetahui waktu tempuh adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{L}{v} \quad (7)$$

Dimana t adalah Waktu tempuh (menit), L yaitu Panjang pipa (meter), dan v adalah Kecepatan (meter/detik).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tahap pra perencanaan

3.1.1. Kapasitas air

Kapasitas air yang akan di alirkan dari IPA Cikalong ke wilayah *offtake* Antapani yaitu sebesar 300 liter/detik untuk melayani 101.165 jiwa. Standar kebutuhan pokok air minum untuk wilayah perencanaan berlandaskan Kriteria Perencanaan Direktorat Jenderal Cipta Karya PU Tahun 1996 termasuk kedalam kategori kota sedang adalah sebesar 150 liter/jiwa/hari (Dirjen Cipta Karya, 1996). Jika dibandingkan dengan kapasitas air yang dialokasikan ke *offtake* Antapani, pelayanan air dilirkan untuk kebutuhan air minum pelanggan sudah memenuhi standar.

3.1.2. Kebutuhan air

Total kebutuhan air minum daerah pelayanan wilayah 3 yang akan dilayani dari IPA Cikalong yaitu sebanyak 11 kelurahan. Sesuai data dari DRD PERUMDA Tirtawening, total kebutuhan air minum wilayah yang akan dilayani di wilayah tersebut adalah 192,48 liter/detik. Sementara, kapasitas yang tersedia saat ini sebesar 300 liter/detik, sehingga mencukupi kebutuhan pelanggan wilayah pelayanan 3. Pengaliran air untuk alokasi debit tahap 1 dari IPA Cikalong ke *take off* Antapani ini dapat dilakukan.

3.1.2. Pola konsumsi air minum

Reservoir dari IPA Cikalong sebagai reservoir yang menampung air baku untuk pelayanan *offtake* Antapani belum dapat menyalurkan air selama 24 jam. Hal ini karena kondisi jam operasional layanan PERUMDA Tirtawening saat ini baru mampu melayani selama 18,79 jam/hari. Dari data tersebut maka pelayanan air minum IPA Cikalong belum mencapai syarat kontinuitas Permen PUPR No. 27 Tahun 2016, dimana syarat tersebut harus mampu menyalurkan air selama 24 jam. Hal ini dipengaruhi kuantitas air minum yang tidak memadai. Hal ini disebabkan karena pada tahun 2020 kehilangan air minum di kota Bandung mencapai 45,79% yang merupakan angka yang sangat tinggi untuk standar kehilangan air.

Fluktuasi pengaliran diperlukan sebagai upaya mengetahui penggunaan air setiap jamnya, seperti penggunaan air pada jam puncak maupun pada jam minimum yang kemudian data tersebut digunakan sebagai *demand pattern* pada *software* EPANET 2.2. fluktuasi penggunaan air berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Leeden (1990), dalam satu hari terdapat beberapa variasi penggunaan air pada jam tertentu seperti yang dijelaskan pada Tabel 1.

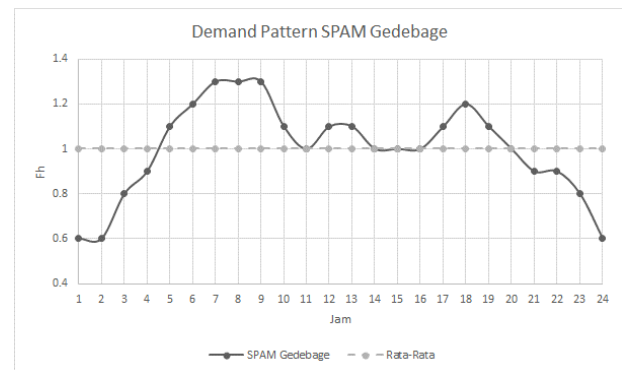
Tabel 1. Pola penggunaan air

No	Uraian	Jam penggunaan air
1	Laju penggunaan air terendah	23.00-05.00
2	Laju penggunaan air tertinggi	05.00 -12.00 (penggunaan puncak pada jam 07.00-08.00)
3	Laju penggunaan air menengah	12.00-17.00 (ketenangan penggunaan air sekitar jam 15.00)
4	Penggunaan malam hari meningkat	17.00-23.00 (penggunaan puncak pada jam 18.00-20.00)

Berdasarkan Tabel 1. aktivitas penggunaan air tersebut sangat menggambarkan penggunaan air dan yang diproduksi oleh PERUMDA Tirtawening yang harus disalurkan kepada pelanggan. Rata-rata pelanggan secara umum memakai air sebanyak 100 galor/hari (Leeden, 1990). Sebagai pelanggan domestik, pelanggan menggunakan air untuk kebutuhan sehari-hari seperti penggunaan air untuk toilet, mandi, memasak, kebersihan, dan menyiram tanaman.

Data hasil pembacaan meter induk air selama 24 jam digunakan untuk data fluktuasi pemakaian air berdasarkan hasil pengukuran yang didapatkan. Pada jaringan pipa induk memiliki nilai sebesar 1,3 pada jam puncak, yaitu pada pukul 07.00-09.00. Perbedaan kebutuhan air ini dipengaruhi oleh konsumsi air, dan perbedaan konsumsi air disebabkan oleh perbedaan pola kebiasaan masyarakat di dalam suatu wilayah

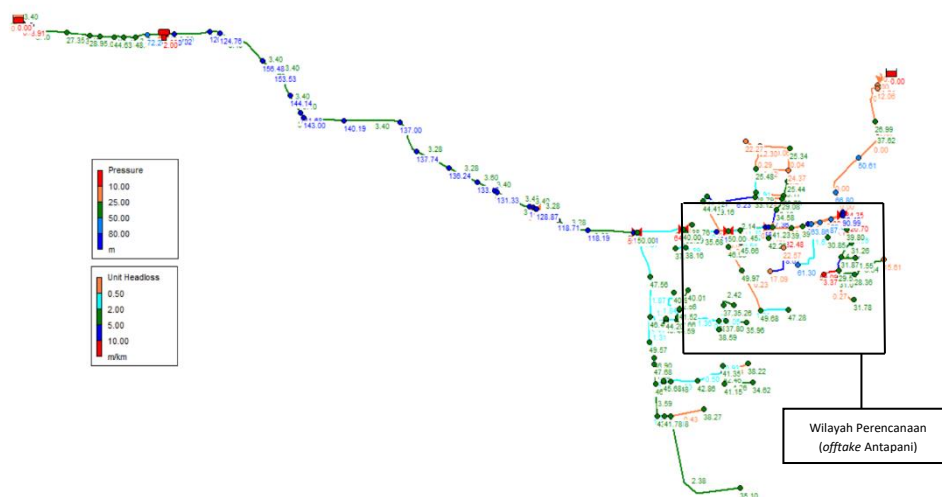
pelayanan (Oktavianto *et al*, 2023). Demand pattern yang didapat diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fluktuasi pengaliran air minum dari IPA Cikalong

3.1.3. Kondisi pipa eksisting

Kondisi pipa Jaringan Distribusi yang akan digunakan adalah pengalihan fungsi pipa transmisi yang sudah ada sejak zaman penjajahan Belanda yang berumur lebih dari 60 tahun, menjadi pipa JDU. Debit yang dialirkan yaitu sebesar 192,48 liter/detik, kondisi pipa dari umur pipa pelanggan di wilayah pelayanan 3 bekisar selama < 5 tahun, 5-10 tahun, dan > 10 tahun dan jenis pipa yang digunakan yaitu pipa PVC. Simulasi parameter hidrolis hasil pengaliran menggunakan software EPANET 2.2 terlebih dahulu. Berikut adalah hasil simulasi jaringan distribusi eksisting yang ditujukan pada Gambar 5.

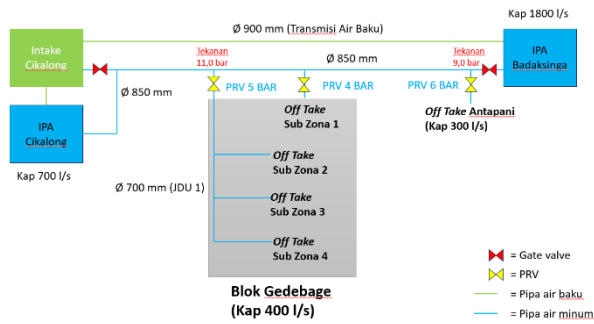


Gambar 5. Hasil simulasi Jaringan Distribusi Utama (JDU) eksisting IPA Cikalong sampai *offtake* Antapani

Seperti yang diketahui pada Gambar 5, hasil simulasi yang didapat menyatakan bahwa terdapat hilang tekan (*headloss*) yang cukup tinggi di wilayah perencanaan, sehingga sebelum dilakukannya perencanaan perlu dilakukan penyesuaian diameter pipa supaya memenuhi standar kriteria desain.

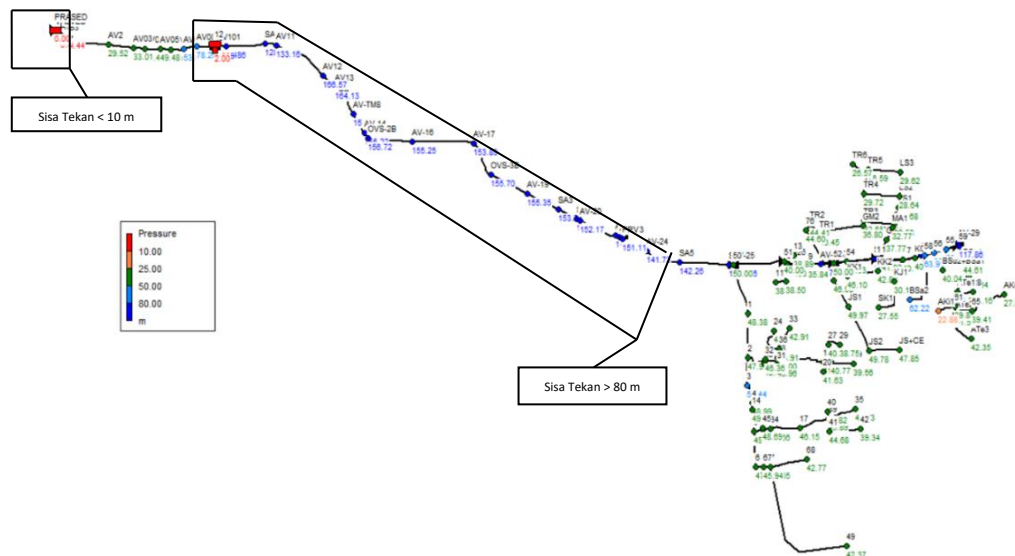
Seperti ditunjukkan Gambar 3, jaringan transmisi eksisting (diameter 850mm) yang sebelumnya

menghantarkan air ke IPA Badaksinga difungsikan menjadi JDU untuk mengalirkan air terolah dari IPA Cikalong ke *offtake* Antapani. Skema jaringan distribusi IPA Cikalong sampai *offtake* Antapani diinformasikan pada Gambar 6. Pada JDU tersebut dipasang *gate valve* supaya air tidak mengalir sampai ujung pipa.



Gambar 6. Skema jaringan distribusi utama dari IPA Cikalong offtake Antapani

Diameter pipa pada wilayah perencanaan berkisar pada diameter 150-850 mm dengan jenis pipa AC, ACP, CI, AC, PVC dan pipa HDPE. Jam puncak ditinjau sesuai teori leeden, yaitu pada pukul 09.00, dan parameter hidrolis yang ditinjau yaitu berupa sisa tekan, kecepatan dan *headloss* yang kemudian disesuaikan dengan kriteria desain Permen PUPR No. 27 Tahun 2016. Setelah dilakukannya simulasi EPANET 2.2 pada kriteria sisa tekan pada jaringan eksisting ditemukan 7 *node* yang memiliki sisa tekan < 10 meter, tekanan air yang rendah dalam pipa



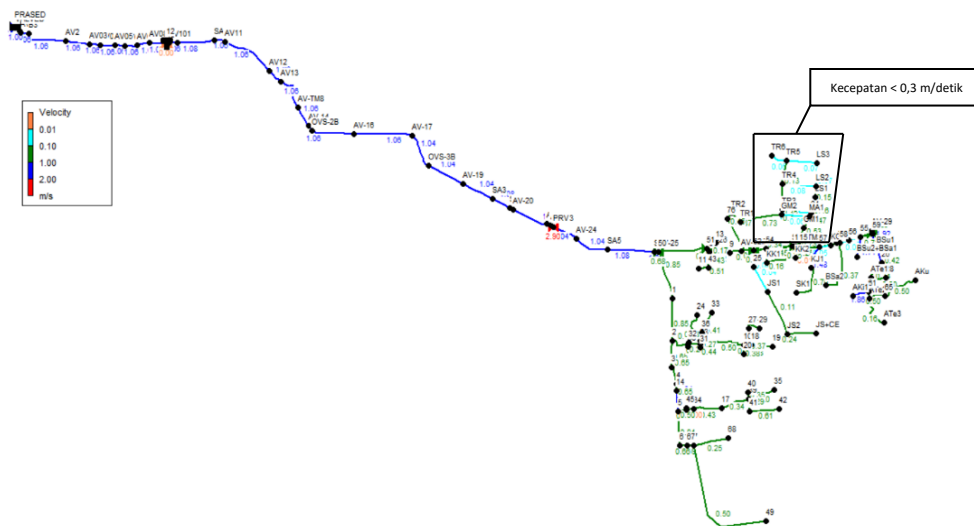
Gambar 7. Hasil simulasi sisa tekan

Hasil simulasi kecepatan pada jaringan distribusi eksisting ditemukan bahwa sebanyak 37 pipa berada di bawah nilai kriteria desain minimum yaitu 0,3 m/detik dengan persentase 25,87%. Kecepatan pada pipa jika dibawah 0,3 m/detik dapat menyebabkan stagnasi air, penumpukan sedimen, dan pertumbuhan

merupakan masalah yang dapat mempengaruhi kemampuan pengiriman air pada konsumen (Khalfan *et al*, 2018). Hal tersebut berada di wilayah *reservoir* yang dipengaruhi karena *total head* pada *reservoir* menuju titik selanjutnya terdapat elevasi yang lebih tinggi dari titik sebelumnya. Selain itu, sisa tekan yang kecil dapat terjadi karena diameter pipa yang terlalu kecil yang dapat menyebabkan hilang tekan (*headloss*) pada jaringan sehingga tekanan yang dihasilkan ke titik selanjutnya tidak optimal.

Adapun pada beberapa *node* dengan nilai > 80 meter, hal ini melebihi kriteria desain maksimum untuk tekanan. Kebocoran pada pipa memiliki hubungan langsung dengan tekanan, pada tekanan tinggi dalam jaringan dapat secara signifikan meningkatkan frekuensi kebocoran (Mathye *et al*, 2022). Pada tekanan yang melebihi standar kriteria disebabkan karena elevasi yang semakin menurun dari titik sebelumnya ke titik selanjutnya, sehingga sebelum memasuki wilayah pelayanan perlu dipasang PRV (*Pressure Reducing Valve*) guna mengatur tekanan supaya tidak melebihi tekanan yang diatur. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 7.

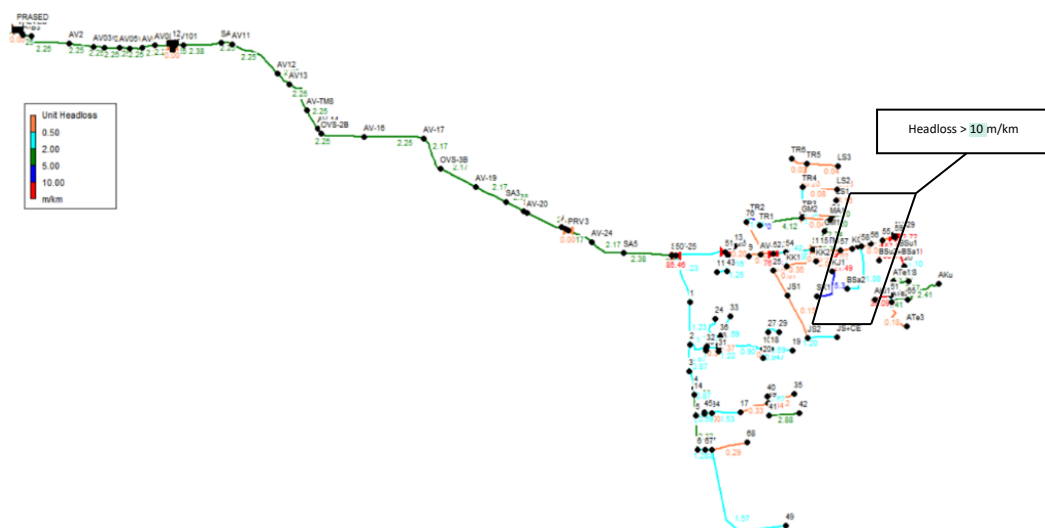
bakteri dalam pipa (Zlatanovic *et al*, 2017). Hal tersebut dipengaruhi karena diameter pipa jaringan distribusi terlalu besar sehingga kecepatan air tidak sesuai standar kriteria. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil simulasi kecepatan

Hasil simulasi hilang tekan (*headloss*) pada jaringan eksisting ditemukan bahwa sebanyak 4 pipa melebihi kriteria desain *headloss* melebihi 10 m/km. *Headloss* yang melebihi standar kriteria dapat menyebabkan masalah seperti *water hammer* didalam pipa yang dapat merusak sistem perpipaan (Terefa Toma *et al*,

2022). Hal tersebut terjadi karena diameter pipa pada jaringan distribusi terlalu kecil sehingga dapat menyebabkan potensi kebocoran dan menyebabkan tekanan yang tersuplai tidak optimal. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9. Hasil simulasi hilang tekan (*headloss*)

Setelah dilakukannya simulasi hidrolis menggunakan EPANET 2.2 dari reservoir sampai ke pipa JDU wilayah perencanaan, terdapat beberapa titik atau beberapa pipa dengan parameter hidrolis yang tidak sesuai dengan kriteria desain seperti tekanan dan kecepatan yang terlalu rendah, dan *headloss* yang terlalu tinggi. Hal ini dapat menyebabkan suplai air minum yang tidak maksimal sampai ke wilayah pelayanan. Ditinjau dari hasil pra perencanaan, diperlukan penggantian pipa eksisting karena tidak optimum mengalirkan air dan rawan pecahnya pipa karena tekanan yang besar.

3.2 Tahap perencanaan

Simulasi hidrolis pada rencana optimalisasi jaringan sistem distribusi SPAM Gedebage dilakukan dengan menggunakan beberapa data dan asumsi berdasarkan kondisi lapangan. Pada proses perencanaan dilakukan penyesuaian diameter pipa pada beberapa segmen jaringan pipa eksisting terkait nilai hidrolis yang kurang maupun terlalu tinggi berdasarkan hasil simulasi hidrolis sistem eksisting.

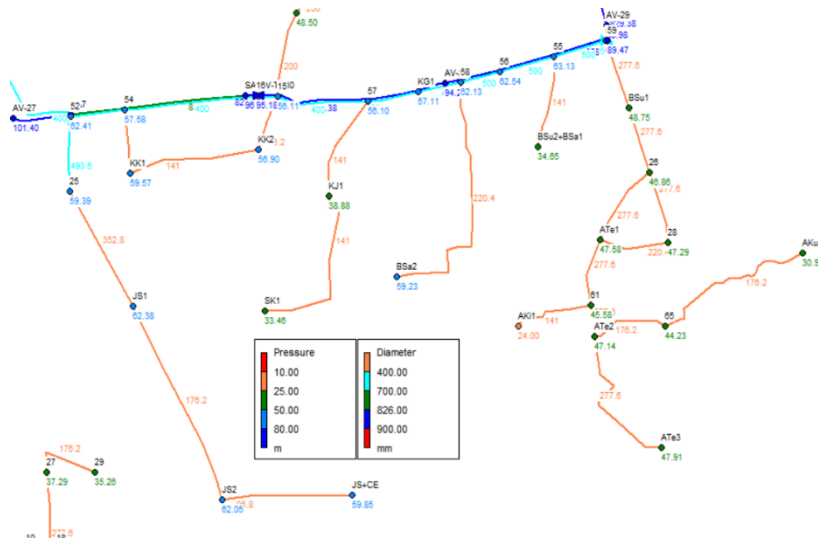
3.2.1 Alternatif satu

Alternatif satu dilakukan perencanaan dengan mengganti seluruh jenis pipa eksisting dengan pipa HDPE, namun dengan diameter yang sama dengan

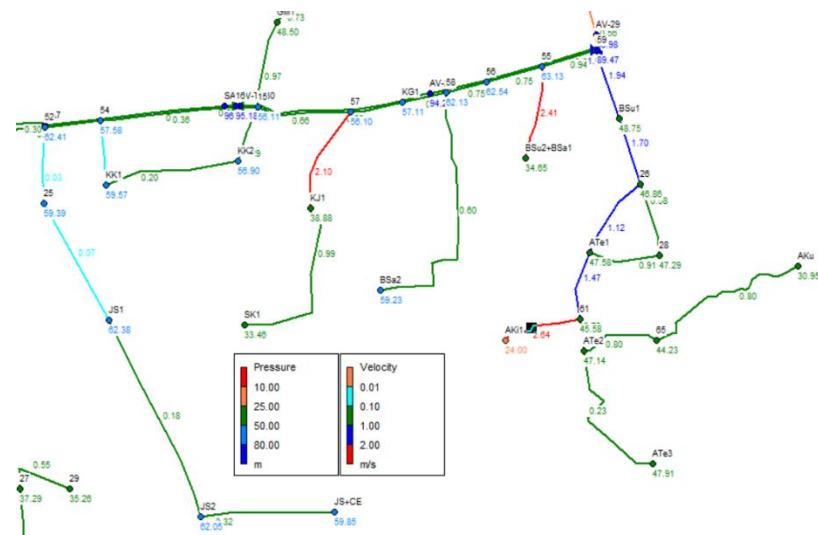
eksisting dan jalur serta panjang jaringan tetap ditunjukkan pada Gambar 10 sampai Gambar 12. mengikuti jaringan eksisting. Perubahan diameter pipa ditunjukkan pada Tabel 2. dan hasil simulasi

Tabel 2. Perubahan diameter pipa pada alternatif satu

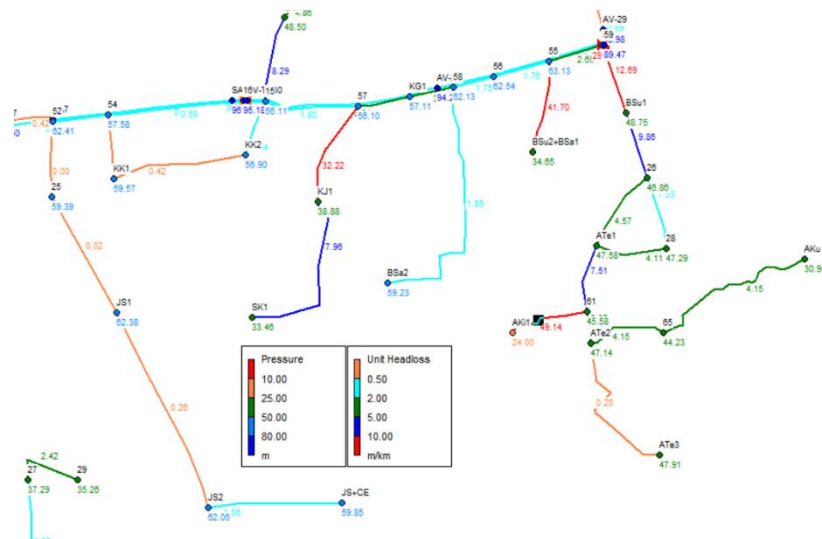
Pipa ID	Diameter		Diameter Pipa Dalam	Inch (")	Pipa ID	Diameter		Diameter Pipa Dalam	Inch (")
	Sebelum	Sesudah				Sebelum	Sesudah		
Pipa 115	100	110	96.8	4	Pipa 146	300	315	277.6	12
Pipa 114	200	200	176.2	8	Pipa 147	300	315	277.6	12
Pipa 89	400	400	352.6	16	Pipa 148	300	315	277.6	12
Pipa 88	600	560	493.6	22	Pipa 149	300	315	277.6	12
Pipa 117	150	160	141	6	Pipa 150	250	250	220.4	10
Pipa 118	150	160	141	6	Pipa 151	300	315	277.6	12
Pipa 143	200	200	176.2	8	Pipa 152	300	315	277.6	12
Pipa 123	150	160	141	6	Pipa 153	300	315	277.6	12
Pipa 124	150	160	141	6	Pipa 154	200	200	176.2	8
Pipa 145	250	250	220.4	10	Pipa 155	200	200	176.2	8
Pipa 142	150	160	141	6	Pipa 156	150	160	141	6



Gambar 10. Hasil simulasi sisa tekan alternatif satu



Gambar 11. Hasil simulasi kecepatan alternatif satu



Gambar 12. Hasil simulasi headloss alternatif satu

Hasil simulasi yang didapat menunjukkan sisa tekan yang didapat pada alternatif satu tidak terjadi perbedaan yang cukup banyak dan tekanan air yang dialirkan sama seperti sebelumnya. Sisa tekan air yang di dapat pada kelurahan Antapani Kidul terdapat kenaikan tekanan, yaitu menjadi 24 meter. Namun tekanan tersebut masih cukup kecil dan dikhawatirkan akan terus menurun sehingga tidak memenuhi standar kriteria disan sampai Sambungan Rumah (SR). Pengaruh dari tekanan ini disebabkan karena faktor hilang tekan (*headloss*) yang terdapat pada jaringan distribusi masih ada beberapa yang

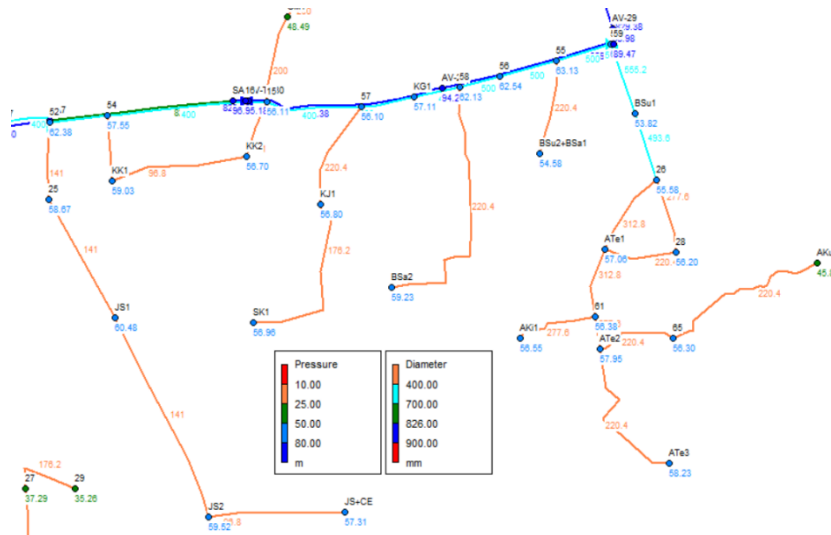
sangat tinggi sehingga tekanan yang tersuplai tidak optimal.

3.2.2. Alternatif Dua

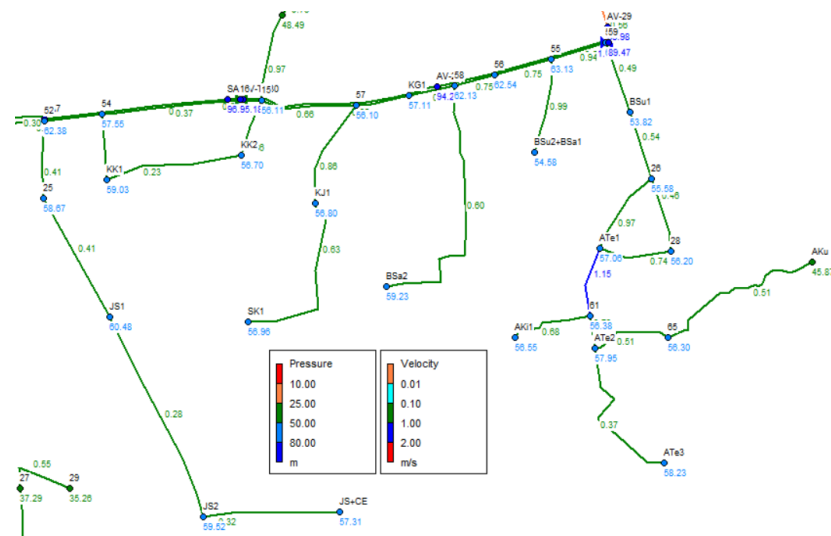
Alternatif dua dilakukan dengan pola jaringan sama dengan alternatif satu, namun terdapat perubahan diameter pipa dengan memberbesar diameter di beberapa jalur tepatnya di wilayah *Offtake* Antapani. Berikut merupakan perubahan diameter pipa pada alternatif dua yang ditujukan pada tabel 3 dan hasil simulasi pada Gambar 13 sampai Gambar 15

Tabel 3. Perubahan diameter pipa pada alternatif dua

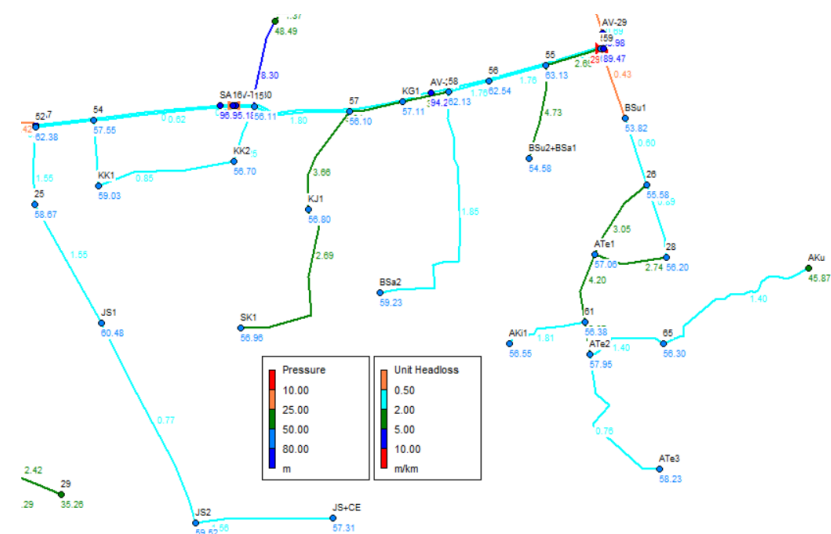
Pipa ID	Diameter		Diameter Pipa Dalam	Inch (")	Pipa ID	Diameter		Diameter Pipa Dalam	Inch (")
	Sebelum	Sesudah				Sebelum	Sesudah		
Pipa 115	100	110	96.8	4	Pipa 146	300	630	555.2	24
Pipa 114	200	200	176.2	8	Pipa 147	300	560	493.8	24
Pipa 89	400	160	141	16	Pipa 148	300	315	277.6	12
Pipa 88	600	160	141	22	Pipa 149	300	315	312.8	12
Pipa 117	150	110	96.8	6	Pipa 150	250	250	220.4	10
Pipa 118	150	160	141	6	Pipa 151	300	315	312.8	12
Pipa 143	200	200	176.2	8	Pipa 152	300	315	277.6	12
Pipa 123	150	250	220.4	6	Pipa 153	300	250	220.4	12
Pipa 124	150	160	141	6	Pipa 154	200	250	220.4	8
Pipa 145	250	250	220.4	10	Pipa 155	200	250	220.4	8
Pipa 142	150	250	220.4	6	Pipa 156	150	315	277.6	24



Gambar 13. Hasil simulasi sisa tekan alternatif dua



Gambar 14. Hasil simulasi kecepatan alternatif dua



Gambar 15. Hasil simulasi headloss alternatif dua

Hasil simulasi yang didapat menunjukkan sisa tekan yang didapat pada alternatif dua terjadi perbedaan yang signifikan. Pada alternatif ini, tekanan

yang didapat di tiap titik kelurahan merata. Pengaruh dari tekanan ini menyebabkan faktor hilang tekan (*headloss*) yang terdapat pada jaringan distribusi

menjadi semakin kecil dan memenuhi standar kriteria desain. Kecepatan aliran yang didapat sama memenuhi kriteria desain. Dengan memenuhinya seluruh kriteria hidrolis yang didapat pada jaringan distribusi pelayanan wilayah 3 yang akan dialirkan dari IPA Cikalong maka air yang dialirkan akan maksimal dan mengurangi tingkat kebocoran.

3.2.3. Pemilihan Alternatif Terpilih

Pemilihan alternatif terpilih kali ini menggunakan metode pembobotan atau yang dikenal dengan metode *Weighted Ranking Technique* (WRT) yang dimana memberikan nilai terhadap parameter-parameter yang dibandingkan, sehingga nilai yang didapat bersifat kuantitatif. Metode

pembobotan atau WRT umum digunakan untuk memperbandingkan alternatif yang terdapat lebih dari satu dalam suatu perencanaan.

Langkah pertama dalam pemilihan alternatif terpilih yaitu menentukan nilai Koefisien Pentingnya Faktor (KPF). Pada kriteria teknis diberi nilai 0 jika parameter tidak penting, kriteria teknis diberi nilai 0,5 jika parameter sama penting, dan kriteria teknis diberi nilai 1 parameter sama penting (Nugraha *et al*, 2017). Parameter yang digunakan dalam menentukan koefisien penting sebagai persyaratan teknis pada perencanaan yaitu sisa tekan, kecepatan, *headloss*, dan jumlah aksesoris. Perhitungan nilai KPF ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai koefisien penting faktor (KPF)

Kriteria Teknis	Penilaian															Jumlah	KPF
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Tekanan minimum	0	0.5	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5							2	0.2
Tekanan maksimum	1					0.5										3	0.3
Kecepatan minimum		0.5					0.5			0	0	0.5				1	0.1
Kecepatan maksimum			0					0.5		1			0	0.5		1.5	0.15
<i>headloss</i>				1					0.5		1		1		0.5	1.5	0.15
Jumlah aksesoris					0.5	0.5	0.5	0.5	0.5			0.5		0.5	0.5	1	0.1
																10	1

Penentuan kesesuaian dengan persyaratan teknis dijadikan nilai KPF di setiap kriteria teknis yang ditinjau dengan membandingkan setiap parameter. Contohnya untuk tekanan minimum diberi nilai 0,5 sama dengan kecepatan minimum, karena keduanya merupakan persyaratan yang perlu dipenuhi dalam kriteria desain hidrolis karena persyaratan teknis tersebut akan pengaliran air minum.

Tahap kedua yaitu menentukan nilai Koefisien Pemilihan Alternatif (KPA). Dalam menentukan nilai KPA diupayakan dengan memberi nilai pada setiap alternatif dengan kriteria teknis yang ditetapkan. Jika alternatif memenuhi kriteria teknis maka diberi nilai 1 dan jika alternatif tidak memenuhi syarat kriteria teknis diberi nilai 0. Nilai KPA untuk setiap kriteria teknis pada setiap alternatif pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai koefisien pemilihan alternatif (KPA)

No	Alternatif	Satuan	Syarat	Nilai	KPA
Tekanan minimum					
1	Satu	Meter	10	16,86	1
	Dua	3650	10	45,87	1
	Jumlah				2
Tekanan maksimum					
2	Satu	2430	100	61,86	1
	Dua	3650	100	59,03	1
	Jumlah				2

No	Alternatif	Satuan	Syarat	Nilai	KPA
3	Satu Dua	Kecepatan minimum			
		2430	0,3	0,04	0
		3650	0,3	0,3	1
4	Satu Dua	Jumlah			
		2430	3	2,9	1
		3650	3	1,27	1
5	Satu Dua	Jumlah			
		2430	10	58,62	0
		3650	10	5,65	1
6	Satu Dua	Jumlah aksesoris			
		2430	-	61	1
		3650	-	69	0
		Jumlah			1

Tahap terakhir yaitu pengambilan keputusan untuk pemilihan alternatif terbaik, pada tahap ini mengalikan nilai KPF dan KPA. Setelah dilakukan pengkalian pada setiap alternatif, yang mendapat nilai akhir paling tinggi adalah alternatif terpilih. Penentuan alternatif dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pemilihan alternatif terbaik

Kriteria teknis	KPF	KPA		KPA x KPF	
		Alternatif satu	Alternatif dua	Alternatif satu	Alternatif dua
Tekanan Minimum	0,2	1	1	0,2	0,2
Tekanan Maksimum	0,3	1	1	0,3	0,3
Kecepatan Minimum	0,1	0	1	0	0,1
Kecepatan Maksimum	0,15	1	1	0,15	0,15
Headloss	0,15	0	1	0	0,15
Jumlah Aksesoris	0,1	1	0	0,1	0
	jumlah			0,75	1

Berdasarkan nilai pemilihan alternatif terbaik, maka jalur alternatif terpilih merupakan jalur alternatif dua yang memiliki nilai tertinggi.

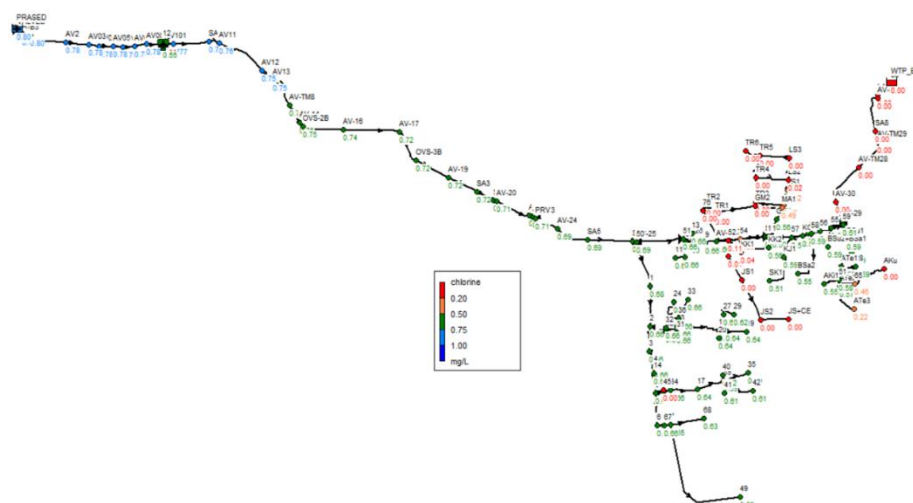
3.3. Simulasi konsentrasi sisa khlor pada alternatif terpilih

Perencanaan kali ini mensimulasikan konsentrasi sisa khlor yang harus disediakan di reservoir IPA Cikalong untuk di distribusikan ke jaringan distribusi pada alternatif terpilih. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 736 Tahun 2010

tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum, nilai maksimal kadar sisa khlor diuji pada outlet reservoir sebesar 1 mg/l dan minimal 0,2 mg/l pada titik terjauh unit distribusi. Nilai tersebut masih sejalan dengan Permenkes No 2 Tahun 2023. Oleh karena itu, kali ini sisa khlor yang direncanakan untuk reservoir IPA Cikalong yaitu sebanyak 0,8 mg/l. berikut adalah hasil simulasi sisa khlor di wilayah perencanaan menggunakan EPANET 2.2 yang ditujukan pada Tabel 7. dan Gambar 16.

Tabel 7. Konsentrasi sisa khlor reservoir ipa cikalong sampai titik terjauh

Node	Sisa khlor (Mg/L)	Node	Sisa khlor (Mg/L)	Node	Sisa khlor (Mg/L)
Reservoir	0,8	Junc AV13	0,75	Junc AV-27	0,66
valveb	0,8	Junc AV-TM8	0,75	Junc SA7	0,66
Junc B1	0,8	Junc AV-14	0,75	Junc SA-8	0,64
Junc B2	0,8	Junc OVS-2B	0,75	Junc 16	0,64
Junc AV1	0,8	Junc AV-16	0,74	Junc AV-TM30	0,64
Junc B3	0,8	Junc AV-17	0,72	Junc AV-28	0,62
Junc AV2	0,78	Junc OVS-3B	0,72	Junc AV-29	0,61
Junc AV03	0,78	Junc AV-19	0,72	Junc 59	0,61
Junc AV04	0,78	Junc SA3	0,72	Junc 53	0,61
Junc AV05	0,78	Junc SA4	0,71	Junc 55	0,61
Junc AV06	0,78	Junc AV-20	0,71	Junc 56	0,59
Junc AV07	0,78	Junc AV-21	0,71	Junc 58	0,59
Junc AV08	0,78	Junc AV-22	0,71	Junc KG1	0,59
Junc AV9	0,77	Junc AV-23	0,71	Junc 57	0,59
Junc 46	0,77	Junc PRV	0,71	Junc 15	0,59
Junc AV10	0,77	Junc AV-24	0,69	Junc 54	0,33
Junc SA1	0,77	Junc SA5	0,69	Junc 52	0,11
Junc SA2	0,76	Junc SA6	0,69	Junc 25	0,01
Junc AV11	0,76	Junc AV-25	0,69	Junc JS1	0
Junc AV12	0,75	Junc AV-26	0,66	Junc JS2	0



Gambar 16. Hasil simulasi konsentrasi sisa khlor jaringan distribusi utama (JDU)

Hasil simulasi diatas menunjukkan konsentrasi sisa khlor pada jaringan pipa utama saat jam puncak. Pada jam puncak dari IPA Cikalong yaitu pada jam 09.00, namun pada jam tersebut sisa khlor yang mengalir dari reservoir masih belum sepenuhnya terdistribusi secara merata, seperti ke titik Kelurahan Jatisari, karena sisa khlor yang mengalir belum memiliki waktu proses yang cukup. Pada wilayah pelayanan terjauh hasil penurunan sisa khlor menunjukan nilai konsentrasi sisa khlornya mencapai lebih dari 0,5 mg/l. Nilai tersebut masih melebihi batas maksimal konsentrasi sisa khlor untuk kualitas air minum, namun pada jaringan distribusi kali ini merupakan jaringan pipa sekunder yang

dikhawatirkan konsentrasi sisa khlor saat menuju Sambungan Rumah (SR) tidak tersuplai atau dapat melebihi batas minimum (0,2 mg/l).

3.3.1. Prediksi konsentrasi sisa khlor pada alternatif terpilih

Berikut adalah jalur distribusi yang dihitung untuk jarak sisa khlor dari reservoir sampai titik terjauh pelayanan pada Gambar 17.

Setelah ditentukan jarak distribusi sisa khlor, selanjutnya dilakukan perhitungan waktu tempuh yang didapat pada reservoir sampai titik terjauh JDU yang ditunjukan pada tabel 8.



Gambar 17. Jalur titik awal samapi titik akhir sisa khlor jaringan distribusi utama (JDU)

Tabel 8. Waktu tempuh konsentrasi sisa khlor sampai titik terjauh

Pipa	Panjang Pipa (Meter)	Waktu (Menit)	Akumulasi waktu (Menit)	Pipa	Panjang Pipa (Meter)	Waktu (Menit)	Akumulasi waktu (Menit)
Pipe PB1	36,43	0,42	0,42	Pipe 20	1009,05	11,6	219,74
Valve VB	0	0	0,42	Pipe 17	124,2	1,43	221,16
Pipe PB2	134,21	1,54	1,96	Pipe 48	83,78	0,96	222,13
Pipe PB3	53,63	0,62	2,58	PRV	0	0	222,13
Pipe 2	230,77	2,65	5,23	Pipe 49	704,57	8,21	230,34
Pipe PB4	1428,83	16,42	21,65	Pipe 52	945,77	11,02	241,36
Pipe 7	1640,61	18,86	40,51	Pipe 21	1276,18	14,37	255,73
Pipe 23	300,57	3,45	43,97	Pipe 53	109,24	1,26	256,99
Pipe 33	388,45	4,46	48,43	Pipe 22	1359,84	29,06	286,05
Pipe PB5	280,71	3,23	51,66	Pipe 31	955,24	26,1	312,15
Pipe PB6	328	3,77	55,43	Pipe 32	350,45	9,58	321,72
Pipe PB7	354,2	4,07	59,5	Pipe 55	1048,19	27,73	349,45
Pipe PB8	458,72	5,27	64,77	Pipe 56	87,03	2,38	351,83
Valve 77	0	0	64,77	Valve 82	0	0	351,83
Pipe 9	67,37	0,77	65,55	Pipe 24	1128,51	30,83	382,66
Pipe 35	227,72	2,62	68,16	Pipe 57	1083,29	29,6	412,26
Pipe PB10	1008,02	11,35	79,52	Pipe 112	110,99	3,03	415,29
Pipe 8	293,58	3,37	82,89	Valve 6	0	0	415,29
Pipe PB11	1471,03	16,91	99,8	Pipe 113	323,4	5,23	420,53
Pipe 10	436,61	5,02	104,82	Pipe 116	336,03	6,83	427,36
Pipe PB12	1996,26	22,95	127,76	Pipe 125	235,74	4,79	432,15
Pipe 64	562,29	6,46	134,23	Pipe 13	265,88	4,1	436,25
Pipe 37	153,69	1,77	135,99	Pipe 122	302,87	5	441,25
Pipe 39	1168,45	13,43	149,42	Pipe 121	549,61	12,72	453,97
Pipe PB13	1585,54	18,22	167,65	Pipe 87	913,33	37,13	491,1
Pipe 43	952,74	11,1	178,75	Pipe 120	329,19	14,07	505,17
Pipe 18	1041,19	12,14	190,89	Pipe 88	445,53	16,5	521,67
Pipe 19	891,1	10,39	201,27	Pipe 89	771,6	28,58	550,24

Pipa	Panjang Pipa (Meter)	Waktu (Menit)	Akumulasi waktu (Menit)	Pipa	Panjang Pipa (Meter)	Waktu (Menit)	Akumulasi waktu (Menit)
Pipe 46	530,25	5,97	207,24	Pipe 114	1250,66	67,24	617,48
Pipe 47	77,92	0,9	208,14	Pipe 115	774,27	35,85	653,33



Gambar 18. Laju reaksi waktu tempuh sisa khlor

Sesuai Tabel. dan Gambar. laju reaksi pada selama 491,10 menit terjadi penurunan konsentrasi sisa khlor yang sangat drastis dan pada menit 550,24 sisa khlor sudah mulai habis di pipa 89 (Tabel 10). Namun demikian gradien penurunan konsentrasi sisa klor terjadi secara signifikan sejak menit 450 yaitu

sejak pipa 121. Hal ini terjadi karena laju kinetik dari sisa khlor yang belum mampu menempuh titik terjauh pelayanan. Simulasi yang dilakukan saat jam puncak pelayanan menunjukkan pada waktu tempuh 450-550,24 menit sebaiknya dilakukan re injeksi klorin.

4. Kesimpulan

PERUMDA Tirtawening merencanakan penambahan kapasitas dengan membangun IPA Cikalong dengan kapasitas debit sebesar 700 liter/detik yang dikhususkan untuk pelayanan wilayah SPAM Gedebage, namun pelayanan SPAM Gedebage baru dapat menyerap debit sebanyak 400 liter/detik dan terdapat debit yang belum termanfaatkan sebanyak 300 liter/detik. Sehingga, debit yang belum termanfaatkan tersebut dialokasikan ke wilayah kecamatan Kiaracandong dan Antapani yang saat ini dilayani oleh IPA Badaksinga. Alasan tersebut dikarenakan IPA Badaksinga sudah tidak dapat melayani wilayah pelayanan tersebut secara optimal mengingat persentase kebocoran di Kota Bandung sendiri yaitu sebesar 45,79%. Sehingga PERUMDA Tirtawening berupaya untuk mengalokasikan debit yang belum termanfaatkan tersebut ke wilayah pelayanan tersebut.

Setelah dilakukannya simulasi hidrolis menggunakan EPANET 2.2, hasil yang didapat perlu dilakukan optimalisasi dari jaringan distribusi pelayanan wilayah 3 karena terdapat beberapa titik yang tidak sesuai dengan kriteria desain Permen PUPR No. 27 Tahun 2016. Supaya air yang dialirkan ke pelayanan wilayah tersebut dapat optimal, dilakukan penggantian diameter pipa yang lebih besar dan juga penggantian jenis pipa wilayah eksisting menjadi pipa

HDPE SDR 17 PN 10. Hasil yang didapat setelah dilakukan optimalisasi, kriteria hidrolis seperti kecepatan yang kurang dari 0,3 meter/detik dan headloss yang lebih dari 10 m/km menjadi sesuai dengan kriteria desain. Pada simulasi konsentrasi sisa khlor pada jam puncak menggunakan software EPANET 2.2, menunjukkan konsentrasi sisa klorin pada JDU berkurang hingga 0,5 mg/L, namun studi ini juga menunjukkan bahwa sisa klorin pada JDU akan menurun secara signifikan pada menit 450-550 menit, dan sebaiknya dilakukan re injeksi klorin pada pipa dengan waktu tempuh tersebut. Langkah ini diperlukan untuk menjaga sisa klorin pada pipa sekunder dan SR agar memenuhi permenkes yang berlaku. Hasil simulasi ini dapat dijadikan sebagai dasar acuan untuk memperbaiki permasalahan kriteria hidrolis yang terjadi pada jaringan distribusi eksisting dan dilakukannya pengoptimalan distribusi dengan dilakukannya perencanaan. Dalam tahap selanjutnya dapat mempertimbangkan pemasangan DMA untuk menindak lanjuti titik kebocoran yang lebih lanjut dan juga dapat dilakukan identifikasi terhadap kualitas air minum seperti konsentrasi sisa khlor didalam jaringan distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- AWWA. (2012). Buried No Longer: Confronting America's Water Infrastructure Challenge. American Water Works Association.
- B. Gunawan, B. Miseno, B. Prasetyo Samadikun, and A. Sarminingsih. (2022) "Analysis and Evaluation of West Semarang Distribution Pipe Network System Municipal Waterworks in Semarang City," vol. 19, no. 1, pp. 199-207.
- Babbitt, Harold E. (1962) Water Supply Engineering. New York: Mc. Graw Hill Book Company.
- BAPPEDA Kota Bandung (2011). Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bandung 2011-2031. Arsip Pemerintah Kota Bandung.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum. (1996). Kriteria Perencanaan Air Bersih. Jakarta: Departemen Pekerjaan umum.
- G. Venkata Ramana, V. S. S. Sudheer, and L. V. N. Prasad. (2016). "Hydraulic Simulation of Existing Water Distribution System using EPANET at Dire Dawa City, Ethiopia," Indian J Sci Technol, vol. 9, no. S1. doi: 10.17485/ijst/2016/v9is1/106859.
- Hassan, F., & Masduqi, A. (2014). "Pemodelan penurunan sisa chlor jaringan distribusi air minum dengan EPANET (Studi Kasus Kecamatan Sukun Kota Malang)". Jurnal Teknik ITS, 3(2), D188-D192.
- Hermiyanti, P., & Wulandari, E. T. (2017). Gambaran Sisa Klor dan MPN Coliform Jaringan Distribusi Air PDAM. Jurnal Media Kesehatan, 10(2), 118-125.
- J. C. Agunwamba, O. R. Ekwule, and C. C. Nnaji. (2018). "Performance evaluation of a municipal water distribution system using waterCAD and Epanet". Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development, vol. 8, no. 3, pp. 459-467. doi: 10.2166/washdev.2018.262.
- K. Khalfan, A. Nassri, and H. A. M. Yahia. (2018). "Problem of Low Pressure in Water Distribution System in Barka" dalam Proceedings of the 8th National Symposium on Engineering Final Year Projects.
- Keputusan Wali Kota Bandung Nomor 027/kep.1732-BKAD/2023 Tentang Standarisasi Harga Tertinggi Satuan Barang/Jasa Tahun Anggaran 2023.
- Lewis. C. D. 1982. Industrial and Business Forecasting Methods. London: Butterworths.
- Mathye, R. P., Scholz, M., & Nyende-Byakika, S. (2022). Optimal Pressure Management in Water Distribution Systems: Efficiency Indexes for Volumetric Cost Performance. Consumption and Linear Leakage Measurements. Water (Switzerland). 14(5).
- Nuartha, I., Ghurri, A., & Priambadi, I. (2016). Analisis Perencanaan Penempatan Pressure Reducing Valve Pada Jaringan Perpipaan Transmisi Air Baku. Jurnal Mettek, 2(2), 68 - 74.
- Nugraha, I. R., Sururi, M. R., Sulistiwati, L. A. (2017). Evaluasi Sistem Distribusi Air Minum PDAM Tirta Kerta Raharja Cabang Teluknaga Kabupaten Tangerang. Jurnal Teknik Lingkungan, 23(1), 87-89.
- Nugraha, W. D., & Oktiawan, W. (2008). Detail Desain Sistem Penyediaan Air Bersih Menggunakan Sumber Mata Air (Studi Kasus: DAS Citarik, Kecamatan Cimanggung, Kabupaten Sumedang). Jurnal Presipitasi, 4(1), 85-91.
- Nugroho, S., Meichayanti, I., & Nurdiana, J. (2018). Analisa Jaringan Perpipaan Distribusi Air Bersih Menggunakan EPANET 2.0 (Studi Kasus di Kelurahan Harapan baru, Kota Samarinda). Teknik, 39(1), 62-66.
- Oktavianto, A. A., & Rosariawari, F. (2023), INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi Analisis Fluktuasi Pemakaian Air Bersih di Pemukiman Desa, Media Cetak, 2(3), 543-549.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27 Tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum. Lembaran Negara RI Tahun 2016 No. 27. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Peraturan Menteri PUPR RI Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Peraturan Pemerintah. (2015). Peraturan Pemerintah No. 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum. Lembar Negara RI No. 345 Tahun 2015. Jakarta: Sekretariat Negara.
- PERUMDA Tirtawening. (2023). Laporan Daftar Rekening Ditagih (DRD) Tahun 2023. Kota Bandung: PERUMDA Tirtawening.
- Rossman, L.A., (2000), EPANET, Version 2, Users Manual, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati
- Saparina, W. (2017). Penurunan Kehilangan Air di Sistem Distribusi Air Minum PDAM Kota Malang. Disertasi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saputra, A. R., & Juwana, I. (2023). Pemilihan Alternatif Jaringan Distribusi Air Minum di Kawasan Perkotaan Betun Kecamatan Malaka Tengah Kabupaten Malaka Provinsi Nusa Tenggara Timur. Jurnal Reka Lingkungan, 11(2), 105-116.
- Sukmawardani, M., Sururi, M. R., & Sutadian, A. D. (2020). "Hydraulic Evaluation of Beber System's Water Distribution Networks of PDAM Tirta Jati Cirebon Regency." Jurnal Teknologi Lingkungan, 22(1), 58-67.
- Taufik, H. N. (2015). Perencanaan Sistem Penyaluran Air Buangan di Kecamatan Purwakarta Kabupaten Purwakarta. Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan Itenas.
- Tefera Toma, Z., Dananto, M., & Author, C. (2022). Evaluating the Hydraulic Performance of Existing Water Supply Distribution System: The Case of Tebela Town of Wolaita Zone. Southern Ethiopia, 1(3).
- Triatmadja, R., (2006), Pra Analisis Pada Jaringan Pipa Untuk Meningkatkan Kecepatan Komputasi. MEDIA TEKNI/(No.4, TH XXVIII, Edisi Nopember 2006, Fakultas Teknik UGM. Sumberdaya Air, Implikasi.
- Triatmadja, R., Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, F. T. U. G. M., & Kampus UGM Yogyakarta, J. G. (2007). Model Berkurangnya Klorin (Chlorine Decay) Pada Jaringan Air Bersih Dalam Pipa. In Forum Teknik (Vol. 31, No. 2007).
- Twort, A.C., Law, F. M., Crowley, F. W., & Ratnayaka, D. D. (1994). Water Supply (4th Edition). London: Edward Arnold (Publisher) Ltd.
- Van der Leeden, F. (1990). The water encyclopedia. CRC Press.
- Walikota Bandung. (2019). Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Tahun 2019-2023. Kota Bandung: Sekretaris Daerah.
- Widiastuti, S. (2017). Hubungan antara Jarak Perpipaan Distribusi Air PDAM Instalasi Kamijoro Bantul

dengan Sisa Klor dan Keberadaan Bakteri Coliform dan *Escherichia coli*, [Skripsi]. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

Yani, D, S dan Roosmini, D. 2008. Pengaruh Jarak terhadap Penurunan Sisa Klor di Jaringan Distribusi PAM Jaya. Bandung : FTSL ITB.

Zlatanović, L., van der Hoek, J, P., & Vreeburg, J, H, G. (2017). An experimental study on the influence of water stagnation and temperature change on water quality in a full-scale domestic drinking water system. *Water Research*. 123, 761–772.