

STUDI DISTRICT METER AREA (DMA) NOROGTOG PERUMDA AIR MINUM TIRTA RAHARJA KABUPATEN BANDUNG UNTUK PENGENDALIAN KEHILANGAN AIR

Oleh:

Septiani Muliawati ¹⁾

Dian Suci Hastuti ²⁾

Eddy S. Soedjono ³⁾

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya ^{1,3)}
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat ²⁾

E-mail:

septianimuliawati@gmail.com ¹⁾

soedjono@enviro.its.ac.id ³⁾

ABSTRACT

The level of Non Revenue Water (NRW) at Tirta Raharja Regional Public Company (RPC) of Drinking Water, Bandung Regency is 27.20% in 2021. This causes a loss of income due to NRW of Rp. 53,311,321,636.5, - in 2021. One of the efforts to reduce NRW that has been carried out by Tirta Raharja RPC of Drinking Water is to establish 36 District Meter Areas (DMA). In this study, DMA Norogtog was chosen because it has the second highest NRW level of 33.41% in January-April 2022. In this study, analysis of DMA Norogtog was conducted to obtain a strategy for increasing DMA performance. The research method is in the form of DMA analysis which is done by comparing the existing conditions to the DMA criteria in the literature. Then the distribution pipeline network analysis on the DMA using the EPANET software. Then technical analysis is carried out on the obtained improvement strategies, so that the recommendations for DMA improvement strategies are obtained. This research showed that most of the existing conditions met the DMA criteria based on the literature, only the pipe hydraulic height criteria did not meet the criteria. There are several alternatives that can be done to improve DMA, namely pressure management by using PRV to decrease the pressure and parallelize the pipe to increase the pressure. The hydraulic simulation in the DMA planning is carried out by reducing a leakage rate of 13,1704% can be obtained in DMA Norogtog.

Keywords: *District Meter Area, Water Loss, Distribution, Regional Public Company of Drinking Water*

ABSTRAK

Tingkat Non Revenue Water (NRW) pada Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Tirta Raharja Kabupaten Bandung sebesar 27,20% (Perumda Tirta Raharja, 2021). Hal ini menyebabkan kehilangan pendapatan akibat NRW sebesar Rp.53.311.321.636,5,- pada tahun 2021. Salah satu upaya penurunan NRW yang telah dilakukan oleh Perumda Air Minum Tirta Raharja adalah membentuk 36 District Meter Area (DMA). Pada penelitian ini dipilih DMA Norogtog karena memiliki tingkat NRW tertinggi kedua sebesar 33,41% pada Bulan Januari-April 2022. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap DMA Norogtog untuk memperoleh strategi peningkatan kinerja DMA. Metode penelitian yang dilakukan berupa analisis DMA yang dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting terhadap kriteria DMA yang ada dalam literatur. Kemudian dilakukan analisis teknik berupa analisis jaringan pipa distribusi pada DMA dilakukan melalui pemodelan menggunakan bantuan software EPANET. Setelah analisis teknis, kemudian dilakukan terhadap strategi peningkatan yang diperoleh, sehingga didapatkan rekomendasi strategi peningkatan DMA. Hasil penelitian didapatkan kondisi eksisting sebagian besar sudah memenuhi kriteria DMA berdasarkan

literatur, hanya kriteria tinggi hidraulis pipa yang belum memenuhi kriteria. Adapun beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan untuk perbaikan DMA adalah manajemen tekanan dengan menggunakan PRV untuk menurunkan tekanan dan memparelel pipa untuk menaikkan tekanan. Berdasarkan penerapan rekomendasi di atas, tingkat kebocoran pada DMA Norogtog dapat diturunkan sebesar 13,1704%.

Kata Kunci : District Meter Area, Kehilangan Air, Distribusi, Perumda Air Minum

1. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan yang terjadi pada setiap Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) adalah tingginya nilai Non Revenue Water (NRW). Besarnya tingkat NRW dapat menyebabkan kehilangan pendapatan bagi Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dalam memberikan pelayanan SPAM kepada masyarakat. Selain itu, NRW juga dapat menyebabkan kerugian bagi masyarakat akibat berkurangnya volume dan tekanan air yang mengalir serta turunnya kualitas air minum ke sambungan rumah pelanggan (Direktorat Air Minum, 2017). Non Revenue Water (NRW) rata-rata nasional sebesar 33,24% (Direktorat Air Minum, 2021). Nilai ini masih berada jauh di atas target penurunan NRW nasional dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2020-2024 yaitu 25%. Tingkat NRW pada Perumda Air Minum Tirta Raharja Kabupaten Bandung berdasarkan laporan perkembangan usaha triwulan IV tahun 2021 adalah sebesar 27,20% sehingga menyebabkan kehilangan pendapatan sebesar Rp.53.311.321.636,5,- dalam setahun.

Salah satu strategi dalam upaya

penurunan NRW melalui pengendalian secara aktif yang terdapat dalam pengendalian kebocoran dengan melakukan pendeteksian kebocoran melalui pengukuran aliran dan tekanan yang sistematis, serta pemodelan District Meter Area (DMA) (Farley, 2008).

Perumda Air Minum Tirta Raharja Kabupaten Bandung terbagi menjadi 4 wilayah dengan 18 SPAM. Perumda Air Minum Tirta Raharja Kabupaten Bandung telah melakukan inisiasi program penurunan NRW dengan cara membentuk DMA. Perumda Air Minum Tirta Raharja mempunyai 36 DMA eksisting pada tahun 2022 yang tersebar ke dalam 4 wilayah pelayanan. Pada penelitian ini dipilih DMA Norogtog karena memiliki nilai NRW tertinggi kedua sebesar 33,41% pada Bulan Januari-April 2022. Sedangkan DMA yang memiliki nilai NRW tertinggi pertama telah dilakukan oleh peneliti lain. DMA Norogtog berada pada SPAM Pangalengan dengan sumber air baku berasal dari Mata Air Citere. Mata Air Citere ini memiliki kapasitas sebesar 35 L/det dengan sistem pengalirannya secara gravitasi. DMA ini memiliki jumlah pelanggan sebanyak 687 SR pada Bulan

Juli 2022 dengan permasalahan utama masih tingginya tingkat NRW. Tingkat NRW terbesar pada DMA Norogtog merupakan kehilangan air fisik yang dipengaruhi oleh kontur tanah berbukit yaitu 1.366,90 mdpl sampai dengan 1.406,81 mdpl yang menyebabkan air yang didistribusikan secara gravitasi memiliki tekanan cukup tinggi, sehingga jaringan pipa distribusi rentan terhadap kebocoran (Syahputra, 2005).

2. TINJUAN PUSTAKA

Penyelenggaraan SPAM merupakan rangkaian kegiatan untuk mengembangkan dan mengelola sarana dan prasarana yang mengikuti proses dasar manajemen untuk penyediaan Air Minum kepada masyarakat (Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum). SPAM dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu SPAM Jaringan Perpipaan dan SPAM Jaringan Non-Perpipaan. SPAM Jaringan Perpipaan terdiri dari unit air baku, unit produksi, unit distribusi, dan unit pelayanan. Tujuan utama dari jaringan distribusi adalah untuk mendistribusikan air minum ke seluruh wilayah pelayanan secara ekonomis (Rizki, 2016). Dalam suatu sistem penyediaan air minum, adanya Non Revenue Water (NRW) atau Air Tak Berekening (ATR) adalah perbedaan

antara jumlah air yang masuk ke sistem distribusi dengan air yang tercatat di rekening (Ditjen Cipta Karya, 2018). Kebocoran fisik merupakan penyumbang tingkat NRW terbesar, kemudian diikuti oleh kebocoran non fisik dan konsumsi resmi tak berekening (Setianingsih dan Karnaningroem, 2019). Tekanan yang berlebih pada jaringan pipa juga menimbulkan tingginya resiko terjadi kebocoran akibat pipa pecah (Syahputra, 2005). Oleh karena itu, penurunan tekanan perlu dilakukan untuk menyeimbangkan aliran pada jaringan distribusi. METODE

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder untuk menganalisis kondisi eksisting DMA Norogtog yang berada pada Perumda Air Minum Tirta Raharja. Data primer didapatkan dari pengumpulan langsung dengan cara survei di lapangan dengan melihat kondisi DMA terbangun. Data sekunder didapatkan dari pihak Perumda Air Minum Tirta Raharja baik wilayah pelayanan, peta jaringan distribusi, volume input air, jumlah konsumsi air, dan data terkait lainnya. Data debit dan tekanan pada inlet DMA Norogtog diperoleh dari hasil pembacaan logger terhadap meter induk dan manometer yang terpasang. Pembacaan logger yang diambil yaitu Bulan Juli 2022 berupa data debit dan tekanan rata-rata dalam 1 bulan selama 24 jam di jam yang sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Neraca air jaringan distribusi DMA Norogtog dibuat menggunakan software WB-EasyCalc the free water balance software version 6.12. Neraca air jaringan

distribusi DMA Norogtog dihitung berdasarkan data masukan Bulan Juli tahun 2022. Adapun neraca air pada DMA Norogtog untuk Bulan Juli 2022 dapat dilihat pada Gambar 1.

Saluran	Debit (L/det)	Saluran	Debit (L/det)	Saluran	Debit (L/det)
Saluran Masuk	5,49	Saluran Keluar	5,49	Saluran Penyimpanan	0,00
Saluran Keluar	5,49	Saluran Masuk	5,49	Saluran Penyimpanan	0,00
Saluran Penyimpanan	0,00	Saluran Masuk	5,49	Saluran Keluar	5,49
Saluran Penyimpanan	0,00	Saluran Keluar	5,49	Saluran Penyimpanan	0,00

Gambar 1. Neraca Air DMA Norogtog

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Berdasarkan gambar diatas diketahui bahwa komponen NRW terbesar terdapat pada kehilangan air fisik.

Analisis DMA Terbangun

Analisis DMA terbangun dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting DMA Norogtog terhadap kriteria DMA berdasarkan literatur. Kriteria DMA yang dibandingkan antara lain yaitu bentuk

DMA, jumlah katup yang harus ditutup, ketersediaan alat pengukuran debit dan tekanan, variasi permukaan tanah, tinggi hidraulis pada pipa, dan batas-batas DMA. DMA Norogtog berada pada wilayah distribusi pelayanan SPAM Pangalengan dengan jumlah pelanggan sebanyak 687 SR. Sistem distribusi dilakukan secara gravitasi dimana DMA Norogtog ini beroperasi selama 24 jam (memenuhi prinsip kontinuitas). Gambar 2 menunjukkan bahwa aliran air yang masuk ke DMA Norogtog melalui inlet DMA melalui 1 (satu) titik. Titik ini merupakan

inlet DMA yang telah dilengkapi dengan meter induk DMA dengan jenis elektromagnetik, manometer jenis mekanik, dan data logger. Hal tersebut menunjukkan bahwa DMA Norogtog sudah terisolasi dengan baik dan jumlah debit aliran yang masuk ke DMA sudah dapat terukur dengan baik.

Aliran air selama 24 jam yang masuk melalui inlet DMA Norogtog memiliki debit rata-rata sebesar 5,49 L/det dengan tekanan rata-rata sebesar 2,87 bar berdasarkan data hasil pembacaan logger. Berdasarkan Gambar 3, diketahui bahwa grafik perbandingan antara debit dan tekanan berfluktuasi seiring dengan fluktuasi debit aliran yang masuk melalui inlet DMA. Semakin tinggi debit aliran yang masuk ke inlet DMA maka tekanan akan semakin turun, begitu juga sebaliknya. Tekanan pada DMA Norogtog ini cenderung tidak stabil dan tinggi karena belum terpasangnya PRV yang

berfungsi menurunkan dan menjaga tekanan yang masuk ke dalam inlet DMA. Pola pemakaian air pelanggan pada DMA Norogtog juga dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan gambar dapat diketahui bahwa pemakaian air terendah berada pada jam 22.00 – 03.00, sedangkan pemakaian air tertinggi berada pada jam 05.00 – 08.00.

Berdasarkan data debit aliran pada inlet DMA Norogtog, diketahui aliran yang masuk ke DMA Norogtog memiliki debit total sebesar 5,65 L/det atau sebesar 14.641 m³/bulan. Jumlah pemakaian air pelanggan DMA Norogtog diperoleh dari data Daftar Rekening Ditagih (DRD) Perumda Air Minum Tirta Raharja Kabupaten Bandung Bulan Juli 2022. Berdasarkan data tersebut diketahui juga bahwa volume pemakaian air pelanggan DMA Norogtog sebesar 10.158 m³/bulan. Tingkat kehilangan air pada DMA

Norogtog dapat diketahui dengan membandingkan volume total air yang masuk ke inlet DMA dengan volume pemakaian air pelanggan yaitu sebesar 4.483 m³/bulan atau sebesar 30,62%.

Variasi elevasi permukaan tanah pada DMA Norogtog diperoleh dari data elevasi DEM Nasional (DEMNAS) Kabupaten Bandung. Berdasarkan data tersebut diperoleh informasi bahwa DMA Norogtog memiliki elevasi terendah 1.366,90 meter di atas permukaan laut (mdpl) dan elevasi tertinggi pada 1.406,81 mdpl, dimana variasi permukaan tanah sebaiknya < 40 m. Adapun DMA Norogtog berada di wilayah permukiman yang dibatasi oleh jalan raya dan jalan lingkungan. Adapun untuk perbandingan kondisi eksisting DMA Norogtog dengan kondisi ideal berdasarkan literatur dilihat pada Tabel 1.

No.	Kriteria DMA	Kondisi Ideal (Literatur)	Kondisi Eksisting DMA Norogtog	Analisis
1	Bentuk DMA (jumlah SR)	500 – 1.000 SR (BSN, 2011); 500 – 3.000 SR (Hajebi et al., 2014); 500 – 5.000 (Morrison et al., 2007)	687 SR	Memenuhi
2	Jumlah katup yang harus ditutup (interkoneksi)	Sebaiknya hanya ada 1 interkoneksi sebagai inlet DMA (Handini, 2020)	Hanya terdapat 1 interkoneksi sebagai inlet DMA	Memenuhi

3	Peralatan pengukuran debit dan tekanan	Terdapat alat pengukuran debit dan tekanan, sehingga aliran yang masuk DMA dapat dipantau secara menerus (Ditjen Cipta Karya, 2018)	Pada inlet, terdapat alat pengukuran debit dan tekanan yang terintegrasi dengan data <i>logger</i>	Memenuhi
4	Variasi permukaan tanah	Sebaiknya < 40 m (Permen PUPR No. 27/PRT/M/2016)	Elevasi tertinggi: 1406,81 mdpl; Elevasi terendah: 1366,90 mdpl Variasi: 39,91 m	Memenuhi
5	Tinggi hidraulis pada pipa dan tekanan	Minimal 5 – 10 m <i>critical point</i> (Permen PUPR No. 27/PRT/M/2016); Maksimal 25 m di <i>downstream</i> inlet DMA (Handini, 2020)	Masih terdapat <5 m di titik tertinggi pada DMA; 28,7 m rata-rata di <i>downstream</i> inlet DMA	Sebagian Memenuhi
6	Batas-batas DMA	Bisa menggunakan ciri-ciri topografis seperti jalan raya, sungai, dll (Farley et al., 2008)	DMA dibatasi oleh jalan raya dan jalan lingkungan	Memenuhi

Tabel 1. Perbandingan Kondisi Eksisting DMA Norogtog dengan Kondisi Ideal sesuai Kriteria DMA pada Literatur

Berdasarkan Tabel 1 hasil analisis perbandingan kondisi eksisting DMA Norogtog dengan kondisi ideal sesuai kriteria DMA pada literatur di atas, diketahui DMA Norogtog telah memenuhi sebagian besar kriteria pembentukan DMA antara lain jumlah pelanggan atau SR, jumlah katup yang harus ditutup, peralatan pengukuran debit, variasi permukaan tanah dan batas-batas DMA. Kriteria DMA yang

belum memenuhi literatur yaitu tinggi hidraulis pipa dan tekanan. Hal ini dapat menyebabkan DMA Norogtog masih memiliki tingkat NRW tinggi yaitu 31,47% selama Bulan Januari sampai dengan Bulan Juli Tahun 2022. Analisis lanjutan berupa pemodelan jaringan distribusi pada DMA Norogtog dengan menggunakan software EPANET diperlukan agar kondisi DMA sesuai

kriteria yang ada dapat tercapai dan dapat mengatasi permasalahan yang ada pada DMA terutama terkait tinggi hidraulis pipa.

Analisis Hidrolis Jaringan Distribusi Eksisting

Pemodelan jaringan distribusi pada DMA Norogtog dilakukan untuk mengetahui apakah kondisi eksisting jaringan distribusi telah atau belum memenuhi kriteria desain sistem distribusi berdasarkan Permen PUPR Nomor 27/PRT/M/2016. Jaringan distribusi eksisting DMA Norogtog menggunakan EPANET dengan memasukkan seluruh data yang ada. Suplai yang disimulasikan pada EPANET disesuaikan berdasarkan kondisi di lapangan dengan pengaturan pipa terpasang, elevasi dan pola pemakaian air supaya hasil simulasi sesuai dengan kondisi di lapangan.

Setelah itu, model jaringan eksisting DMA Norogtog yang telah diinput berdasarkan data yang tersedia menggunakan software EPANET 2.2. dilakukan running analysis. Hasil dari running analysis akan dibandingkan dengan kriteria desain sistem distribusi berdasarkan Permen PUPR Nomor 27/PRT/M/2016 untuk mengetahui kesesuaian kriteria desain.

Berdasarkan hasil running analysis pada jam 01.00 yang merupakan kondisi pemakaian air minimum pada DMA

Norogtog. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa sisa tekan pada jaringan distribusi eksisting berada pada rentang nilai 25,69 sampai dengan 65,55 m. Sedangkan pemakaian air pada jam 06.00 merupakan kondisi pemakaian air maksimum atau jam puncak pada DMA Norogtog. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa sisa tekan pada jaringan distribusi eksisting berada pada rentang nilai 4,72 sampai dengan 44,54 m. Hasil running analysis ini apabila dibandingkan dengan kriteria desain Permen PUPR Nomor 27/PRT/M/2016, masih terdapat node pada model jaringan eksisting yang belum memenuhi kriteria desain yaitu pada node J120 dengan nilai 4,72 (<5 m). Adapun standar tekanan minimum sebesar 5-10 m dan tekanan maksimum sebesar 60-80 m untuk pipa PVC dan 12,4 MPa untuk pipa HDPE (Permen PUPR Nomor 27/PRT/M/2016). Tekanan pada downstream inlet pada DMA Norogtog rata-rata sebesar 28,7 m, dimana hal ini belum memenuhi kriteria DMA untuk tekanan pada downstream inlet DMA maksimal 25 m (Handini, 2020). Kondisi sisa tekan yang rendah pada jaringan distribusi terjadi karena topografi pada titik tersebut memiliki elevasi yang tinggi.

Nilai sisa tekan pada titik pelanggan terjauh (critical point) ditunjukkan juga berdasarkan hasil running analysis sebesar 65,55 m pada jam minimum. Titik

pelanggan terjauh ini merupakan node J126 yang ditandai dengan warna merah pada Gambar 4. Hal ini diakibatkan variasi permukaan tanah pada DMA Norogtog sebesar 39,91 m dan titik pelanggan terjauh berada pada elevasi terendah yaitu 1366,90 mdpl. Tekanan statis pada titik pelanggan akan bertambah apabila inlet berada semakin jauh dan elevasi semakin menurun. Sedangkan sisa tekan pada titik pelanggan tertinggi (critical point) yang terdapat pada node J120 adalah < 5 m pada jam puncak.

Rekomendasi Peningkatan DMA

A. Peningkatan Tekanan pada Titik Kritis

Penyesuaian pipa pada jaringan distribusi DMA Norogtog dilakukan dengan menambah pipa paralel sebanyak 1 pipa. Penambahan pipa paralel ini untuk menaikkan tekanan pada pipa yang belum memenuhi tekanan 5 m.

Adapun perubahan tekanan dengan penambahan pipa paralel pada model rekomendasi DMA Norogtog dengan ukuran diameter 63 mm dan panjang 181 m dapat meningkatkan tekanan di titik kritis pada jam puncak menjadi 5,19 m.

B. Manajemen Tekanan menggunakan PRV

Setelah dilakukan penyesuaian terhadap pipa jaringan distribusi pada DMA, maka dilakukan penyesuaian tekanan pada tekanan aliran *downstream* inlet DMA dan

tekanan wilayah pelayanan di titik pelanggan terjauh dengan memasang PRV. *Setting* valve PRV untuk inlet DMA sebesar 20, sedangkan untuk titik pelanggan terjauh sebesar 8,5.

Running analysis pada jam 01.00 yang merupakan kondisi pemakaian air minimum pada DMA Norogtog. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa sisa tekan pada jaringan distribusi eksisting berada pada rentang nilai 5,75 sampai dengan 30,98 m. Sedangkan pemakaian air pada jam 06.00 merupakan kondisi pemakaian air maksimum pada DMA Norogtog, hasil pemodelan menunjukkan bahwa sisa tekan pada jaringan distribusi eksisting berada pada rentang nilai 5,25 sampai dengan 30,97 m. Jika dibandingkan dengan kriteria desain Permen PUPR Nomor 27/PRT/M/2016, maka *node* pada model jaringan eksisting sudah memenuhi kriteria desain yaitu tekanan minimum sebesar 5-10 m.

Hubungan Pengendalian Tekanan dan Penurunan Kehilangan Air Fisik

Berdasarkan uraian rekomendasi pengendalian tekanan aliran diatas, maka didapatkan tabel hubungan antara tekanan rata-rata jam minimum dan jam puncak untuk masing-masing rekomendasi menunjukkan bahwa tekanan rata-rata kondisi eksisting sebesar 27,1318 m. Sedangkan tekanan rata-rata pada jam minimum dan jam puncak tertinggi pada

rekomendasi sebesar 16,5672 m. Sedangkan debit kebocoran setelah perubahan tekanan menjadi 2.554,75 m³/bulan sehingga kehilangan air fisik turun sebesar 1.928,251 m³/bulan atau 13,1704%.

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap kondisi eksisting dan aspek teknis, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa DMA Norogtog sebagian besar telah memenuhi kondisi ideal sesuai kriteria DMA berdasarkan dengan literatur. Kriteria DMA yang telah memenuhi antara lain jumlah pelanggan atau SR, jumlah katup yang harus ditutup, peralatan pengukuran debit, variasi permukaan tanah dan batas-batas DMA. Kriteria DMA yang belum memenuhi literatur yaitu tinggi hidraulis pipa dan tekanan. DMA Norogtog mempunyai permasalahan pada tekanan. Adapun rekomendasi perbaikan DMA Norogtog dilakukan melalui manajemen tekanan dan paralel pipa. Manajemen tekanan dilakukan dengan memasang PRV pada titik *downstream* inlet DMA dan titik terjauh pada DMA untuk menurunkan tekanan. Sedangkan untuk menaikkan tekanan dapat dilakukan dengan penambahan pipa paralel.

5. DAFTAR PUSTAKA

- BSN. *Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum.*, Pub. L. No. SNI 7509:2011, Standar Nasional Indonesia (2011).
- Direktorat Air Minum. (2017). *Rencana Strategis BPPSPAM Tahun 2018-2022*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Ditjen Cipta Karya. (2018). *Modul Air Tak Berekening*. Jakarta Selatan: Kementerian PUPR.
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., dan Singh, S. (2008). *Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer: Panduan untuk Memahami Kehilangan Air*. (N. van Dijk, V. Raksakulthai, dan E. Kirkwood, Eds.). USAID.
- Hajebi, S., Temate, S., Barrett, S., Clarke, A., dan Clarke, S. (2014). *Water Distribution Network Sectorisation Using Structural Graph Partitioning Andmulti-Objective Optimization*. *Procedia Engineering*, 89, 1144–1151. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.238>
- Handini, F. (2020). *Perencanaan Pembentukan DMA*. Malang: Perumda Air Minum Tirta Tugu Kota Malang.

- Morrison, J., Tooms, S., dan Rogers, D. (2007). *District Metered Areas Guidance Notes*. International Water Association. 2007.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang *Sistem Penyediaan Air Minum*.
- Peraturan Presiden Nomor 18 Tahun 2020, tentang *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2020-2024*. Jakarta.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27/PRT/M/2016, tentang *Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta: Departemen PU.
- Perumda Air Minum Tirta Raharja Kabupaten Bandung. (2021). *Laporan Perkembangan Usaha s.d. Triwulan IV Perumda Air Minum Tirta Raharja Kabupaten Bandung*. Kabupaten Bandung: Perumda Air Minum Tirta Raharja Kabupaten Bandung.
- Rizki, M. S. (2016). *Penerapan Jaringan Distribusi Sistem District Meter Area (DMA) dalam Peningkatan Penurunan Kehilangan Air Fisik Ditinjau dari Aspek Teknis dan Finansial (Studi Kasus : Wilayah Layanan IPA Bengkuring PDAM Tirta Kencana Kota Samarinda)*. Intitut Teknologi Bandung: Bandung.
- Setianingsih, M., dan Karnaningroem, N. (2019). *Evaluation of Water Losses: Study Case in Intan Banjar Water Supply Company*. IPTEK Journal of Proceedings Series, 0(5), 225. Surabaya: ITS.
- Syahputra, B. (2005). *Pengaruh Penambahan Debit Kebutuhan Pada Zona Pelayanan Air Bersih di PDAM Tirta Meulaboh*. Jurnal Pondasi, 11(1), 1–18.