

**PELUANG DAN TANTANGAN PENGENDALIAN KEHILANGAN AIR
BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) : STUDI PUSTAKA**
*THE OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF WATER LOSSES CONTROL BASED ON
INTERNET OF THINGS (IOT) : LITERATURE REVIEW*

Galis Asmara

*Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, ITS, Sukolilo,
Surabaya, 60111, Indonesia
E-mail: galisasmara@gmail.com*

ABSTRAK

Permasalahan yang sering terjadi pada pipa distribusi air minum adalah kehilangan air. Kehilangan air mengurangi kualitas pelayanan dan pendapatan PDAM. Studi pustaka terhadap artikel ilmiah yang relevan menunjukkan adanya peluang penerapan pengendalian kehilangan air berbasis Internet of Things (IoT). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi peluang dan tantangan penerapan IoT untuk pengendalian kehilangan air khususnya pada PDAM sebagai operator penyelenggara. IoT berpeluang mengendalikan kehilangan air melalui tiga cara yaitu manajemen tekanan, manajemen aset, dan mempercepat waktu tanggap saat terjadi kebocoran. Tantangan penerapan IoT pada PDAM di Indonesia berkaitan dengan kelembagaan dan pembiayaan PDAM, infrastruktur jaringan pendukung, keamanan data, serta ketidakakuratan dan kesalahan data. PDAM di Indonesia berpeluang menerapkan IoT namun hendaknya harus memperhatikan tantangan-tantangan yang telah dijabarkan pada penelitian ini.

Kata kunci: *Internet of Things (IoT), kehilangan air, PDAM.*

ABSTRACT

The problem that often occurs in water distribution pipes is water losses. The water losses reduce the service quality and the revenue of PDAM. The literature reviews of relevant scientific articles show that there are opportunities for implementing water losses control based on the Internet of Things (IoT). This study aims to identify the opportunities and the challenges of implementing IoT to control water losses at PDAM as an operator. The IoT has the opportunity to control water losses in three ways: pressure management; asset management; and accelerates the response time when a leak occurs. The challenges of implementing IoT at PDAM are related to the institutionalization and financing of PDAM; supporting network infrastructure; data security; and data inaccuracies and errors. PDAM in Indonesia has the opportunity to implement the IoT system, but they have to observe the possible challenges in this research.

Keywords: *Internet of Things (IoT), PDAM, water losses*

1. PENDAHULUAN

Sistem penyediaan air minum (SPAM) adalah satu kesatuan sarana dan prasarana penyediaan air minum yang terdiri dari unit air baku, unit produksi, unit distribusi dan unit pelayanan. Permasalahan yang umum terjadi pada infrastruktur SPAM khususnya pada jaringan distribusi adalah kehilangan air. Kehilangan air adalah selisih dari volume produksi dengan volume konsumsi resmi. Kehilangan air tersebut menjadi salah satu komponen yang tidak dapat direkeningkan atau tidak dapat tertagih sehingga menjadi kerugian bagi operator penyelenggara air minum, yaitu PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum). Oleh karena itu kehilangan air telah mengakibatkan kerugian finansial dan berkurangnya kualitas pelayanan kepada pelanggan. Penyebab tingginya kehilangan air terdiri dari faktor fisik dan faktor finansial. Faktor fisik terjadi karena adanya kebocoran pada jaringan pipa dan luapan pada reservoir, sedangkan faktor finansial terjadi karena pencurian air, meter air yang tidak akurat, dan kesalahan data. Pada artikel ini akan fokus pada pengendalian kehilangan air yang disebabkan oleh faktor fisik pada jaringan perpipaan.

Pengendalian kehilangan air dapat diawali dengan melakukan audit air, menentukan DMA dan melakukan pengendalian seperti manajemen tekanan, deteksi aktif kebocoran dan penggantian pipa (Sánchez *et al.*, 2020). Pengendalian kehilangan air tersebut sangat disarankan karena memberikan dampak positif terhadap kinerja PDAM. Penurunan kehilangan air sebesar 33% di Kota Kozani menghasilkan keuntungan ekonomi berdasarkan indikator NPV (15 tahun) yang bernilai positif (Kanakoudis dan Gonelas, 2016). Studi penggantian 1% pipa yang rusak di PDAM Surabaya menghasilkan peningkatan pelayanan sebesar 3,6% dan penambahan pendapatan sebesar Rp 5.000.000.000/tahun (Suryani, 2016).

Perkembangan teknologi membuat pengendalian kehilangan air dapat dilakukan secara efisien menggunakan *Internet of Things* (IoT). Penerapan IoT untuk pengendalian kehilangan air memiliki keunggulan, diantaranya dapat dilakukan secara mandiri (otomatis), remote / jarak jauh, *real-time* dan tidak membutuhkan personil yang banyak.

Penelitian tentang penerapan IoT untuk pengendalian kehilangan air telah dilakukan oleh berbagai peneliti. Penerapan IoT untuk pengendalian kehilangan air dengan manajemen tekanan menggunakan PRV (*Pressure Reducing Valve*) telah menurunkan volume kebocoran air sebesar 37% (Samir *et al.*, 2017) dan 31,65% (García-Ávila *et al.*, 2019). Pada penelitian-penelitian sebelumnya tidak memberikan informasi terkait berbagai tantangan implementasi IoT. Oleh karena itu pada artikel ini penulis akan melakukan studi pustaka terhadap artikel yang relevan dan memberikan telaah berkaitan dengan peluang dan tantangan implementasi IoT untuk pengendalian kehilangan air berdasarkan kondisi PDAM di Indonesia.

2. KEHILANGAN AIR

Permasalahan yang umum terjadi di Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) adalah kehilangan air, yaitu selisih dari input volume produksi dibandingkan dengan konsumsi resmi. Kehilangan air terbagi menjadi 2 (dua), yaitu kehilangan air fisik dan non fisik. Kehilangan air fisik adalah kehilangan air yang terjadi pada system jaringan, dalam hal ini termasuk kebocoran pada pipa termasuk sambungan dan aksesorisnya, kebocoran dalam tangki atau reservoir, atau limpahan air yg keluar dari resevoir (Thornton *et al.*, 2008). Sedangkan kehilangan air non fisik adalah kehilangan air yang disebabkan oleh adanya

sambungan sambungan ilegal atau pencurian air, meter air yang tidak akurat, kesalahan pembacaan meter pelanggan, dan kesalahan pengelolaan data (Farley *et. al.*, 2008).

Kehilangan air merugikan PDAM selaku penyelenggara air minum, baik secara finansial maupun kualitas pelayanan. Dari sisi kualitas pelayanan, pipa distribusi air minum yang bocor mengakibatkan kerugian berupa berkurangnya kuantitas dan kualitas air yang dialirkan (Ayadi *et al.*, 2020). Kehilangan air mengakibatkan tidak mampunya jaringan pipa mengalirkan air dengan baik karena terjadi penurunan tekanan akibat pipa bocor (Mustakim dan Pratama, 2018). Studi kasus di Sub Sistem Cibodas PDAM Tirta Jati Kabupaten Cirebon, kehilangan air sebesar 17,58% berpengaruh pada pengaliran pipa distribusi yang tidak optimum dari kriteria tekanan dan kecepatan aliran (Fakhirah *et. al.*, 2020). Adapun jika dilihat dari sisi finansial, kerugian akibat kehilangan air adalah berkurangnya pendapatan PDAM. Tingkat kehilangan air yang tinggi sebesar 28,24% di PDAM Tabalong mengakibatkan kerugian yang signifikan terhadap pendapatan perusahaan (Rakhmad dan Masduqi, 2018). Studi yang dilakukan oleh Taini dan Purnomo (2017) di PDAM Kota Kendari Cabang Pohara, kerugian finansial akibat kehilangan air adalah sebesar Rp 2.261.827.700 per tahun. Kasus kehilangan air di PDAM Tirta Banteng Kota Tangerang sebesar 54,88% juga mengakibatkan adanya potensi kerugian secara finansial (Mu'min, 2020). Menurut BPPSPAM (2020), tingginya tingkat kehilangan air membuat harga produksi air PDAM menjadi lebih tinggi dimana saat ini terdapat sebanyak 237 PDAM yang belum memuhi tarif *Full Cost Recovery* yaitu harga pokok produksi lebih tinggi dibandingkan tarif air minum. Secara nasional tingkat kehilangan air pada PDAM di Indonesia adalah sebesar 32,75% masih jauh dari target tingkat kehilangan air maksimum 20% (BPPSPAM, 2020).

3. PENGENDALIAN KEHILANGAN AIR

Sistem penyediaan air minum hendaknya diawasi, dianalisis dan direspon secara efektif ketika terjadi kegagalan (Martinovska dan Gjorgi, 2016) termasuk pengendalian kehilangan air. Pengendalian kehilangan air sangat disarankan karena memberikan dampak positif terhadap kinerja PDAM. Penelitian sebelumnya mengungkap benefit tersebut. Penurunan kehilangan air sebesar 33% di Kota Kozani oleh (Kanakoudis dan Gonelas, 2016) menghasilkan keuntungan ekonomi berdasarkan indikator NPV (15 tahun) yang bernilai positif. Studi oleh (Suryani, 2016) penggantian 1% pipa yang rusak di PDAM Surabaya menghasilkan peningkatan pelayanan sebesar 3,6% dan penambahan pendapatan sebesar Rp 5.000.000.000 / tahun. Langkah pengendalian dapat diawali dengan melakukan audit air, menentukan DMA dan melakukan pengendalian seperti manajemen tekanan, deteksi aktif kebocoran dan penggantian pipa (Sánchez *et al.*, 2020). Beberapa cara untuk pengendalian kehilangan air antara lain membentuk DMA (Fakhirah, 2020), penyusunan neraca air (Mu'min, 2020), metode *step test* dan pemeliharaan asset pipa (Syarif dan Ridwan, 2020).

4. KONSEP INTERNET OF THINGS (IOT)

Perkembangan teknologi untuk mengendalikan kehilangan air sudah meningkat menuju penerapan *Internet of Things (IoT)* (Creaco *et al.*, 2019). Konsep IoT mengacu pada sebuah jaringan yang menghubungkan sensor di lapangan dan perangkat lunak sehingga dapat menyajikan data secara *online* dan *real-time* dari setiap parameter yang diukur, seperti level aliran, tekanan, suhu dan kebisingan (Sánchez *et al.*, 2020). Penerapan IoT di pipa distribusi air minum, harus dipasang beberapa peralatan kontrol yang terdiri dari *sensors*, *controller*,

actuators, data server, interface devices (Creaco *et al.*, 2019). Instrumen-instrumen tersebut dapat bekerja optimal berdasarkan nilai-nilai parameter yang telah ditentukan (*set point value*).



Gambar 1. *Smart Water System* Berbasis IoT di Jaringan Distribusi (Sánchez *et al.*, 2020)

Martinovska dan Gjorgi (2016) mengatakan bahwa peralatan-peralatan yang telah disebutkan sebelumnya akan beroperasi dengan tiga hirarki level kontrol yaitu: level pertama adalah instrumen lapangan (sensor tekanan, *flow meters*, actuator) dan *Remote Terminal Unit* (RTU) untuk pengambilan data, khusus untuk penggunaan RTU ditempatkan pada daerah yang jauh (*remote*). Selanjutnya pada level kedua adalah *Program Logic Control* (PLC), yang menerima sinyal dari instrumen lapangan dan RTU untuk diproses ke *interface device*. Terakhir pada level ketiga adalah ruang pusat kontrol yang akan menyajikan data-data dari kondisi pipa secara *real-time*.

5. PELUANG PENERAPAN IOT

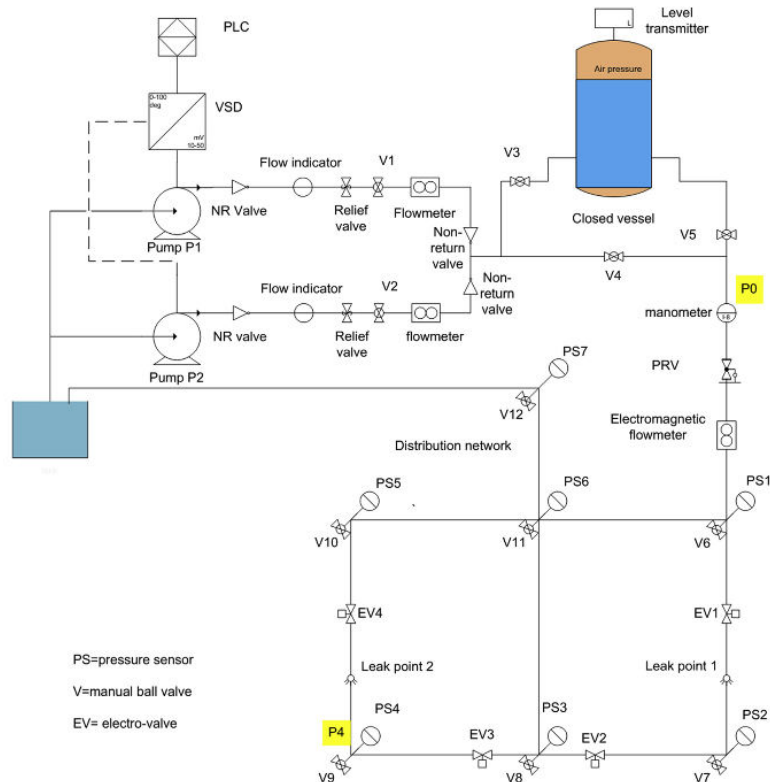
Penerapan IoT yang disebut sebagai *Smart Water System* Sánchez *et al.* (2020) berpeluang diterapkan untuk mengendalikan kehilangan air pada pipa distribusi. Peluang penerapan IoT dapat dilakukan melalui tiga cara, yaitu manajemen tekanan, manajemen aset, dan mempercepat waktu tanggap dari operator saat terjadi kebocoran.

5.1 Manajemen Tekanan

Pengendalian kehilangan air dengan manajemen tekanan adalah salah satu strategi yang cukup baik dalam pengendalian kebocoran. Penerapan IoT memungkinkan otomatisasi pada manajemen tekanan menggunakan PRV. Algoritma PRV secara otomatis memproses data aliran dan tekanan yang berasal dari katup di hulu, hilir dan titik kendali, untuk mencapai kontrol optimal terhadap *supply, demand, headloss*, dan lain-lain (Sánchez *et al.*, 2020).

Instrumen lain yang dapat ditambahkan dalam mengatur tekanan adalah *Variable Speed Drivers* (VSD). Melalui VSD biaya energi dapat ditekan karena aliran dan tekanan terkontrol dengan baik (Latchoomun *et al.*, 2020). Modifikasi skema IoT yang dilakukan oleh

Latchoomun *et al.* (2020) dengan menambahkan *Harmonic Oscillator Tank (HOT)* pada pipa distribusi dengan kehilangan air tinggi meningkatkan efisiensi kerja pompa sebesar 86,45% dibandingkan hanya 69,84% menggunakan VSD.



Gambar 2. Skema Instrumen Kontrol dengan Penambahan HOT (Latchoomun *et al.*, 2020).

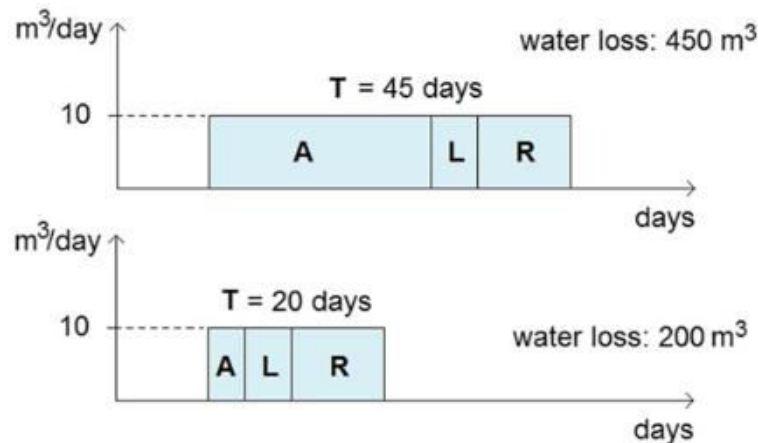
5.2 Manajemen Aset

Manajemen aset berarti serangkaian proses perencanaan, pengadaan, pengelolaan dan perawatan terhadap seluruh aset yang dimiliki PDAM. Seluruh aset tersebut hendaknya diinventarisasi dan visualisasikan dalam bentuk *online* dengan bantuan SIG (Sistem Informasi Geografis). Beberapa keuntungan penerapan IoT untuk manajemen aset antara lain penjadwalan yang lebih teratur pemeliharaan pipa, memperpanjang umur operasional, mengelola risiko kerusakan pipa yang lebih besar dan memperkirakan pendanaan yang dibutuhkan (Sánchez *et al.*, 2020).

5.3 Mempercepat Waktu Tanggap

Semakin lama waktu untuk sadar terhadap kebocoran maka volume air yang terbuang akan semakin besar. Total Waktu (T) yang dibutuhkan adalah waktu dari *awareness time* (A), *location time* (L) dan *repair time* (R) (Sánchez *et al.*, 2020). Pendekatan yang umum dilakukan untuk mendeteksi kebocoran pipa seperti *Visual Inspection* (VI) dan *Acoustic Detection* (AD) memiliki kekurangan yaitu membutuhkan waktu, intervensi manusia dan keterbatasan dalam pelaksanaannya (Ayadi *et al.*, 2020). Walaupun begitu, peneliti Sánchez *et al.*, (2020) mengungkapkan cara deteksi kebocoran dengan metode AD tetap harus dilaksanakan, karena waktu deteksi lokasi kebocoran (L) sangat sulit untuk dikurangi. Fungsi waktu yang dapat dikurangi adalah *awareness time* (A), dengan cara menerapkan IoT berupa

smart metering terhadap aliran dan tekanan dikombinasikan dengan *Artificial Intelligent* (AI). Gambar 3 menunjukkan efek pengurangan *awarness time* (A) terhadap volume kebocoran air, dimana *awarness time* (A) selama 45 hari menimbulkan kehilangan air yang lebih besar (450 m^3) dibandingkan 20 hari (200 m^3).



Gambar 3. Efek Pengurangan *Awareness Time* (A) terhadap Volume Kehilangan Air

6. TANTANGAN PENERAPAN IOT

6.1 Kelembagaan dan Pembiayaan

Penerapan IoT untuk pengendalian kehilangan air pada PDAM di Indonesia umumnya menghadapi tantangan yang berasal dari internal PDAM itu sendiri. Secara nasional kinerja kelembagaan masih perlu ditingkatkan guna menyiapkan kesiapan untuk mengelola infrastruktur SPAM berbasis IoT. Menurut data BPPSPAM (2019) sebanyak 380 PDAM yang dinilai kinerjanya, 224 PDAM bertatus sehat, 102 PDAM berstatus kurang sehat dan 54 PDAM berstatus sakit. Selain itu sekitar 34% (129 PDAM) belum memiliki dokumen rencana bisnis perusahaan. Berkaitan dengan tarif air minum, sebanyak 63% (237 PDAM) belum menerapkan *Full Cost Recovery* (FCR) atau pendapatan yang diterima tidak mampu menutupi biaya operasional PDAM. Faktor lain yang menjadi tantangan kelembagaan adalah kesiapan Sumber Daya Manusia (SDM) dimana rasio pengadaan diklat hanya sebesar 47,32%. Oleh karena itu sebelum mengambil keputusan untuk berinvestasi pada perangkat IoT untuk pengendalian kehilangan air, hendaknya dilakukan langkah-langkah strategis untuk meningkatkan kinerja PDAM. Langkah tersebut dapat diawali dengan *review* dan/atau penyusunan rencana bisnis PDAM, penyesuaian tarif air minum untuk mencapai FCR dan memperbanyak pelatihan SDM berkaitan dengan teknis operasional layanan air minum.

Implementasi IoT di PDAM tidak hanya membutuhkan kelembagaan yang baik, tetapi juga membutuhkan komitmen pembiayaan yang tinggi dalam penerapannya. Apabila pembiayaan yang diperlukan melebihi kemampuan pembiayaan dari internal PDAM maka sangat penting untuk mendapatkan dukungan dari Kepala Daerah dalam hal ini Bupati atau Walikota. Dukungan tersebut berupa fasilitasi pembiayaan yang berasal dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) sendiri ataupun fasilitasi untuk mengakses opsi pembiayaan lain seperti Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) dari Kementerian PUPR, Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha (KPBU), Subsidi Bunga Perbankan untuk

Investasi SPAM dari Kementerian Keuangan, dan pembiayaan lain yang berasal dari berbagai Lembaga donor. Untuk mengakses beberapa opsi tersebut Kepala Daerah bersama dengan manajemen PDAM perlu menyiapkan dokumen-dokumen perencanaan yang selaras dengan hirarki perencanaan SPAM, antara lain rencana induk SPAM (RISPAM), rencana bisnis PDAM, dokumen studi kelayakan atau *feasibility study* (FS), dan *detail engineering design* (DED).

6.2 Ketersediaan Infrastruktur Pendukung

Jaringan pipa distribusi PDAM biasanya tersebar pada cakupan wilayah yang luas sehingga infrastruktur pendukung penerapan IoT mutlak sangat dibutuhkan. Infrastruktur pendukung yang dimaksud adalah infrastruktur jaringan sebagai salah satu komponen penting untuk mengantarkan data dari sensor di lapangan menuju ke pusat data. PDAM yang memiliki cakupan wilayah pelayanan perkotaan tentu tidak bermasalah dengan jaringan tersebut karena umumnya telah memadai. Hal ini akan berbeda pada PDAM dengan cakupan wilayah pelayanannya yang tidak terjangkau jaringan. Data Kementerian Informasi dan Komunikasi (2019) menunjukkan bahwa cakupan akses jaringan, yaitu jaringan 4G di Indonesia pada akhir tahun 2018 berada pada angka 82,36%. Selain itu, BPS (2019) menyebut bahwa masih ada 5933 desa yang tidak terjangkau sinyal seluler dari Menara BTS (*Base Transceiver Station*) yang saat ini telah terbangun.

6.3 Keamanan Data

Sektor air minum berkaitan erat dengan kesehatan masyarakat sehingga perlu dijaga keamanan datanya. Tantangan keamanan data pada penerapan IoT adalah berupa peretasan karena penggunaan *open network environment* (Stolpe, 2016). Strategi yang tepat dalam pengamanan IoT adalah membangun akses jaringan yang terbatas hanya pada sebuah kelompok, dimana algoritma kontrol dibuat pada spesifikasi tertentu (Roman *et al.*, 2013).

6.4 Ketidakakuratan Pengukuran

Sistem IoT untuk pengendalian kehilangan air harus dapat diandalkan dalam menampilkan data-data yang akurat. Berkaitan dengan hal tersebut beberapa peneliti terdahulu telah memberikan gambaran tentang kinerja IoT untuk deteksi kebocoran. Seperti studi yang dilakukan oleh Narayanan *et al.*, (2020) di Kota Austin dengan membandingkan volume riil konsumsi dan prediksi pencatatan volume oleh IoT menunjukkan akurasi sebesar 59,59% pada metode *Long -Short Term Memory* (LSTM) dan 47,55% pada metode *Regressive Intergarated Moving Average* (ARIMA). Selain itu, deteksi kebocoran pada saat aliran minimum yang dilakukan Farah and Shahrour (2017) di sistem jaringan pipa Universitas Lille, menunjukkan adanya kemungkinan *false alarm* kebocoran pipa yang berkisar antara 5-10% bervariasi sesuai dengan ambang batas pengukuran aliran yang ditetapkan.

7. KESIMPULAN

Internet of Things (IoT) adalah salah satu alternatif untuk melakukan pengendalian kehilangan air. IoT dapat menyajikan data-data pada jaringan distribusi berupa debit aliran, tekanan, kekeruhan dan parameter-paramater lainnya secara *online* dan *real-time*. Peluang penerapan IoT untuk mengendalikan kehilangan air dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu manajemen tekanan, manajemen asset, dan mempercepat waktu tanggap ketika terjadi kebocoran. Tetapi sebelum mengambil keputusan untuk berinvestasi pada sistem IoT, hendaknya PDAM selaku operator penyelenggara SPAM memperhatikan beberapa tantangan-tantangan penerapan IoT

yaitu tantangan kelembagaan dan pembiayaan PDAM, ketersediaan infrastruktur pendukung, kemandirian data dan ketidakakuratan pengukuran dari IoT yang terbangun.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayadi, A. *et al.* 2020. "A framework of monitoring water pipeline techniques based on sensors technologies," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. King Saud bin Abdulaziz University. doi: 10.1016/j.jksuci.2019.12.003.
- BPPSPAM. 2019. *Buku Kinerja BUMD Penyelenggara SPAM Tahun 2019*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Creaco, E. *et al.* 2019. "Real time control of water distribution networks: A state-of-the-art review," *Water Research*. Elsevier Ltd, pp. 517–530. doi: 10.1016/j.watres.2019.06.025.
- Erma Suryani, R. U. 2016. "Perencanaan Strategis untuk Menekan Tingkat Kehilangan Air PDAM Surabaya dengan Sistem Dinamik," *Jurnal IPTEK*, 20(1), p. 109. doi: 10.31284/j.ipitek.2016.v20i1.15.
- Syanocty Putri Farah Fakhirah, Mohammad Rangga Sururi, A. D. S. (2020). Evaluasi hidrolis pada jaringan distribusi PDAM Tirta Jati Kabupaten Cirebon Sistem Cibodas. *Jurnal Teknik Lingkungan Institut*, 6 (2), 12 hal.
- Farah, E. dan Shahrour, I. . 2017. "Leakage Detection Using Smart Water System: Combination of Water Balance and Automated Minimum Night Flow," *Water Resources Management*, 31(15), pp. 4821–4833. doi: 10.1007/s11269-017-1780-9.
- Farley, Malcolm, W. G., & Zainuddin, Arie Istandar, dan S. S. (2008). Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer, Panduan untuk Memahami Kehilangan Air. ADB.
- García-Ávila, F. *et al.* .2019. "Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves. Case study in an Andean city," *Alexandria Engineering Journal*, 58(4), pp. 1313–1326. doi: 10.1016/j.aej.2019.11.003.
- Kanakoudis, V. dan Gonelas, K. 2016. "Non-revenue water reduction through pressure management in Kozani's water distribution network: from theory to practice," *Desalination and Water Treatment*, 57(25), pp. 11436–11446. doi: 10.1080/19443994.2015.1049967.
- Kominfo. 2019. *Laporan Kinerja Kementerian Komunikasi dan Informatika*. Kementerian Komunikasi dan Informatika. Jakarta
- Latchoomun, L. *et al.* .2020. "Harmonic oscillator tank: A new method for leakage and energy reduction in a water distribution network with pressure driven demand," *Energy*, 201. doi: 10.1016/j.energy.2020.117657.
- Martinovska Bande, C. dan Gjorgi Bande. 2016. *SCADA System for Monitoring Water Supply Network: A Case Study*. Available at: www.ijournals.in.

- Mu'min, M. A. (2020). Penurunan Kehilangan Air Pada Perumahan Di Sistem Distribusi Cikokol Dengan Metode Neraca Air. *Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 9 (2), 116–123. <https://doi.org/10.31000/jt.v9i2.3691>
- Mustakim, D. T. Pratama. (2018). Analisis Non Revenue Water (NRW) Pada Jaringan Pipa Air Bersih PDAM Kota Balikpapan. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Balikpapan*, 1, 25–33.
- Nawa Syarif, M., & Ridwan, A. (2020). Studi Kasus Penurunan Kehilangan Air Pada Sistem Distribusi Air PDAM di DMA Pondok Mutiara Payung Sekaki dengan Metode Steptest. *Jurnal Surya Teknika* (Vol. 7, Issue 1, pp. 130–134). <https://doi.org/10.37859/jst.v7i1.2360>
- Narayanan, L. K. *et al.* 2020. “Water Demand Forecasting using Deep Learning in IoT Enabled Water Distribution Network,” *International Journal of Computers, Communications and Control*, 15(6), pp. 1–15. doi: 10.15837/ijccc.2020.6.3977.
- Rakhmad, A. N., & Masduqi, A. (2018). Water Losses Management in Water Supply Company of Tabalong Regency. *Journal of A Applied Environmental and Biological Sciences*, 8 (2), 96–99.
- Roman, R., Zhou, J. dan Lopez, J. 2013 “On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things,” *Computer Networks*, 57(10), pp. 2266–2279. doi: 10.1016/j.comnet.2012.12.018.
- Samir, N. *et al.* 2017. “Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems,” *Alexandria Engineering Journal*, 56(4), pp. 601–612. doi: 10.1016/j.aej.2017.07.008.
- Sánchez, A. S. *et al.* 2020. “Water Loss Management Through Smart Water Systems,” in *Modeling and Optimization in Science and Technologies*. Springer, pp. 233–266. doi: 10.1007/978-3-030-37794-6_12.
- Stolpe, M. 2016. “The Internet of Things: Opportunities and Challenges for Distributed Data Analysis,” in *SIGKDD Explorations*, pp. 15–34. doi: <https://doi.org/10.1145/2980765.2980768>.
- Taini, I. P. and Purnomo, A. 2017. “Studi Kehilangan Air Komersial (Studi Kasus: PDAM Kota Kendari Cabang Pohara),” *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). doi: 10.12962/j23373539.v6i2.25181.
- Thornton, J., Sturm, R., Kunkel, G. (2008). Water Loss Control 2nd Edition. United States of America. McGraw-Hill Companies.