

## Strategi Peningkatan Sistem Pengelolaan Air Bersih di Aceh

Dandi Bachtiar<sup>1</sup>, Zulfan<sup>2</sup>, Al Munawir<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik USK, Jalan Syech Abdurrauf No. 7  
Kopelma Darussalam, Banda Aceh, 23111

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar

e-mail: \*<sup>1</sup>[dandibachtiar@unsyiah.ac.id](mailto:dandibachtiar@unsyiah.ac.id), <sup>2</sup>[zulfanstmt@unsyiah.ac.id](mailto:zulfanstmt@unsyiah.ac.id), <sup>3</sup>[almunawir@utu.ac.id](mailto:almunawir@utu.ac.id)

### Abstrak

Wilayah Aceh kaya akan sumber-sumber air. Beragam tipologi sumber daya air seperti cekungan air tanah (CAT), sungai, wilayah sungai (WS), daerah aliran sungai (DAS) dan danau tersebar di seluruh wilayah Aceh. Dibutuhkan suatu upaya yang sungguh-sungguh agar mampu membangun suatu sistem yang menjamin secara maksimal akan kemudahan akses terhadap ketersediaan air bersih. Pada era revolusi industri 4.0 saat ini menawarkan inovasi di bidang digital yang dapat diimplementasikan dalam perbaikan sistem pengelolaan sumber daya air. Pilar inovasi digital dalam revolusi industri 4.0 antara lain Internet of Things (IoT), cloud computation, human interface machine, dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki pengelolaan air bersih oleh PDAM-PDAM di Aceh. Paper ini memaparkan upaya-upaya inovatif dan sistematis berbasiskan pilar industri 4.0 yang dapat diterapkan dalam pengelolaan PDAM-PDAM di Aceh. Metode penulisan berdasarkan pada kajian literatur yang menggali informasi tentang riwayat tata kelola air di Aceh serta kinerja yang ditunjukkan. Selanjutnya kajian literatur terhadap beberapa upaya peningkatan tata kelola air berbasis industri 4.0 yang sudah dilakukan oleh PDAM di Indonesia. Selanjutnya analisa dilakukan terhadap strategi implementasi Internet of Things serta antisipasi konsekuensi finansial yang muncul akibat penerapannya. Akhirnya haruslah diakui bahwa implementasi industri 4.0 pada sistem pengelolaan air akan membawa kepada kondisi peningkatan kualitas di segala sektor, baik itu pelayanan, teknikal, dan sistem finansial perusahaan pengelola.

**Kata kunci**— manajemen air, cloud computation, human machine interfaces, IoTs

### Abstract

The Aceh region is rich in water sources. Various typologies of water resources such as groundwater basins, rivers, river basins, watersheds and lakes are scattered throughout Aceh. It takes a serious effort in order to be able to build a system that guarantees maximum ease of access to the availability of clean water. In the era of the industrial revolution 4.0, it currently offers innovation in the digital field that can be implemented in improving the water resource management system. The pillars of digital innovation in the 4.0 industrial revolution, including the Internet of Things (IoT), cloud computing, human interface machines, can be utilized to improve clean water management by PDAMs in Aceh. This paper describes innovative and systematic efforts based on the pillars of industry 4.0 that can be applied in the management of PDAMs in Aceh. The writing method is based on a literature review that explores information about the history of water management in Aceh and the performance shown. Next is a literature review of several efforts to improve industrial 4.0-based water governance that have been carried out by PDAMs in Indonesia. Then analysis is carried out on the strategy for implementing the Internet of Things and anticipating the financial consequences that arise as a result of its implementation. Finally, it must be acknowledged that the implementation of

*industry 4.0 on the water management system will lead to conditions of quality improvement in many sectors, such as service, technical, and the financial system of the company.*

**Keywords**— *water management, cloud computation, human machine interfaces, IoTs*

## 1. PENDAHULUAN

Air adalah sumber kehidupan. Manusia membutuhkan air untuk dapat menjalankan aktivitas hidupnya. Sehingga sarana penyediaan air bersih bagi kelangsungan hidup komunitas masyarakat menjadi sangat penting [1]. Jaminan ketersediaan air bersih dalam suatu kumpulan masyarakat menjadi indikator tingkat kesejahteraan masyarakat tersebut. Artinya semakin tinggi kualitas penyediaan dan akses terhadap air bersih maka ini menunjukkan semakin tinggi pula tingkat kesejahteraan masyarakatnya.

Wilayah Aceh kaya akan sumber-sumber air. Beragam tipologi sumber daya air seperti cekungan air tanah (CAT), sungai, wilayah sungai (WS), daerah aliran sungai (DAS) dan danau tersebar di seluruh wilayah Aceh [2]. Ini sebuah anugerah alam yang patut kita syukuri. Namun ketersediaan saja belum cukup, jika ternyata akses masyarakat untuk mendapatkan air bersih masih terkendala. Dibutuhkan suatu upaya yang sungguh-sungguh agar mampu membangun suatu sistem yang menjamin secara maksimal akan kemudahan akses terhadap ketersediaan air bersih. Hal ini akan menjadi salahsatu ciri masyarakat yang maju dan sejahtera.

Aceh sebuah wilayah yang masuk dalam yurisdiksi negara Indonesia otomatis mengadopsi sistem hukum pengelolaan sumber daya air yang berlaku di Indonesia. Dasar hukum negara RI yaitu UUD 1945 mengamanatkan dalam Pasal 33 ayat 3 bahwa bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat.

Interpretasi logis dari makna penulisan amanat UUD 1945 di atas sudah jelas bahwa negara bertanggung-jawab penuh dalam mengelola air dalam tujuannya untuk menggapai kemakmuran rakyat. Negara dalam hal ini adalah pemerintah sah yang telah mendapat mandat dari rakyat melalui mekanisme politik yang sesuai dengan konstitusi. Undang Undang No. 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air telah pula mengamanatkan bahwa Pemerintah Pusat dan/atau Pemerintah Daerah bertanggung-jawab dalam mengelola air di wilayah hukum Indonesia [3]. Artinya untuk wilayah Aceh maka hak dan tanggung-jawab pengelolaan air bersih dapat dikuasai oleh Pemda Aceh.

Pemerintah Aceh telah pula mengatur pengelolaan sumber daya air melalui Qanun dengan penugasan kepada badan usaha pada level Kabupaten/Kota yaitu Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Artinya PDAM didirikan oleh pemerintah Kabupaten untuk mengelola penyediaan air bersih di wilayah kabupaten/kota [4].

Status PDAM yang merupakan BUMD milik pemerintah daerah kabupaten/kota memiliki sekaligus dampak positif maupun negatif dalam pengelolaannya. Disebut positif dalam beberapa hal seperti: (1) menganut prinsip desentralisasi sehingga memperkuat kedudukan otonomi daerah dalam pengelolaan kebijakan publik, (2) lebih mudah dalam memitigasi problem yang bersifat lokal, (3) prioritas tenaga kerja lokal dapat lebih terbela. Sedangkan dampak negatif yang bisa jadi muncul ke permukaan seperti: (1) agak lambat dalam mengadopsi inovasi dari atas atau level nasional, (2) sumber daya manusia berkualitas agak terbatas karena akses dari pusat tidak mulus. Namun kendala-kendala ini bukan tidak ada solusinya. Inilah yang menjadi tantangan bagi pemerintah daerah untuk dapat memperbaiki kinerja pengelolaan PDAM.

Pada sisi lain, sistem pengelolaan sumber daya air bersih perlu terus dikembangkan dan diperbaiki sejalan dengan perkembangan zaman. Tuntutan kehidupan berkualitas di masyarakat yang maju dan modern semakin tinggi. Termasuk pula tuntutan untuk dapat menikmati air

bersih yang berkualitas tinggi baik dari segi kuantitas, higienis, dan kenyamanan akses (keterjangkauannya).

Makalah ini bertujuan menggambarkan upaya yang memungkinkan dalam meningkatkan kinerja pengelolaan PDAM yang berada di wilayah Aceh. Pilar revolusi industri 4.0 yang terus dikembangkan dalam era modern ini dapat dimanfaatkan untuk diterapkan dalam upaya peningkatan ini. Suatu kajian literatur dilakukan secara sistematis dalam rangka mendapatkan gambaran yang utuh dalam mengembangkan strategi baru pengembangan pengelolaan manajemen air yang berbasis industri 4.0 di Aceh.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode utama yang dipakai dalam penulisan makalah ini adalah dengan cara kajian literatur yang komprehensif terhadap beberapa topik mendasar yang mendukung proses pengembangan pengelolaan manajemen air di Aceh. Kajian pertama dilakukan terhadap riwayat tata kelola air yang dikembangkan di Aceh melalui perusahaan daerah PDAM di seluruh kabupaten. Juga dilakukan kajian terhadap kinerja yang ditunjukkan oleh setiap PDAM tersebut. Selanjutnya kajian literatur dilakukan dalam menggali perihal implementasi pilar revolusi industri 4.0 yang paling sesuai diterapkan dalam sistem pengelolaan air. Analisa dilakukan dalam menentukan strategi yang tepat dalam implementasi Internet of Things, cloud computation dan human machine interfaces di PDAM Aceh dan konsekwensi finansial yang dihasilkannya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Kinerja PDAM-PDAM di Aceh

PDAM di era modern ini dituntut untuk menunjukkan kinerja yang profesional, kompeten, bertanggung-jawab dan berintegritas. Selama ini sistem evaluasi dan monitoring kinerja PDAM di seluruh Indonesia dilakukan oleh sebuah badan di level pusat. Badan itu BPPSPAM (Badan Peningkatan Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum) secara rutin melakukan penilaian kinerja seluruh PDAM di Indonesia.

Ada sejumlah 4 (empat) aspek yang ditinjau sebagai bahan evaluasi, yaitu aspek teknis operasional, pelayanan, keuangan dan sumber daya manusia. Di dalamnya ada sebanyak 18 indikator yang menjadi perhatian utama. Hasil penilaian ditunjukkan dengan predikat Sehat, Kurang Sehat dan Tidak Sehat. Sejak 2011 BPPSPAM telah menerbitkan hasil penilaian kinerja seluruh PDAM di Indonesia. Namun sepanjang waktu tersebut, peningkatan kinerja terlihat tidak signifikan. Data dari tahun 2015-2020 menunjukkan rata-rata tren meningkat sehatnya tujuh PDAM per tahun atau 3,66 persen per tahun. Yang sehat 61,71 persen, kurang sehat 24,81 persen, dan sakit 13,44 persen [5]. Sedangkan PDAM yang ada di wilayah Aceh ada sebanyak 20 PDAM dan yang mendapat status sehat hanya 6 PDAM, sisanya berpredikat kurang sehat sebanyak 6 PDAM dan sakit sebanyak 8 PDAM [6]. Ini tentunya menjadi masalah besar yang perlu segera dicarikan jalan keluarnya.

### 3.2 Peluang Baru Peningkatan Tata Kelola PDAM

Strategi pengelolaan yang baik dan profesional perlu diterapkan secara sistematis dan mempertimbangkan faktor-faktor lokal dan ketersediaan sumber daya eksternal. Pemerintah pusat melalui BPPSPAM selama ini telah menyusun program peningkatan kinerja dalam aspek-aspek yang dinilai. Namun di tahun 2021 pemerintah membubarkan BPPSPAM dan menyerahkan kembali kewajiban evaluasi kinerja PDAM kepada Ditjen Cipta Karya PUPR [7]. Keputusan ini sekaligus memberi peluang akan munculnya alternatif-alternatif baru dalam upaya peningkatan kinerja pengelolaan sumber daya air di Indonesia.

---

Pada era revolusi industri 4.0 saat ini menawarkan inovasi di bidang digital yang dapat diimplementasikan dalam perbaikan sistem pengelolaan sumber daya air [8]. Salahsatunya adalah Smart Water Grid Management, yaitu penerapan teknologi digital pada pengelolaan air minum. Teknologi yang terintegrasi tersebut mampu mengubah sistem operasional, seperti halnya dua orang pegawai sudah cukup untuk memonitor dan mengontrol SPAM dalam satu daerah pelayanan. Mereka bekerja dilengkapi dengan layar monitor yang besar yang bisa menampilkan data real-time, dan menampilkan seluruh parameter SPAM yang dibutuhkan, sekaligus mengontrol peralatan mekanikal dan elektrik dari jarak jauh. Sistem kerja seperti itu tentu sangat efisien karena perusahaan tidak memerlukan jumlah pegawai yang banyak dan akan menghemat waktu operasional.

Pilar inovasi digital dalam revolusi industri 4.0 antara lain seperti Internet of Things (IoT), cloud computation, human interface machine, telah dengan familiarnya bermunculan di era ini. Dan pemanfaatannya untuk memperbaiki pengelolaan air bersih oleh PDAM telah membuka lebar peluang peningkatan kinerja PDAM di seluruh Indonesia, termasuk juga di Aceh ini.

### 3.3 Internet of Things (IoT)

Perbaikan yang ditawarkan oleh pilar Internet of Things (IoT) ini adalah peningkatan kualitas pengelolaan dalam pemantauan big data. IoT adalah program atau konsep teknologi dengan memanfaatkan sebuah objek dengan kemampuannya untuk mengirimkan atau mendistribusikan data melalui jaringan tanpa campur tangan manusia, sehingga prosesnya berlangsung secara otomatis. Dalam industri pengolahan air, teknologi ini tentunya sangat bermanfaat, karena dapat digunakan untuk berbagai hal. Contohnya seperti mencegah terjadinya kerusakan pada sistem pemipaan air, kehilangan air, dan juga tagihan yang tertunggak.

Suatu proposal yang cukup inovatif telah dikembangkan dengan sistem cerdas berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini diciptakan untuk memantau konsumsi air di kompleks perumahan perkotaan. Sensor ultrasonik, bersama dengan Arduino, terus memantau ketinggian air tangki air di atap rumah dan mengirimkan data ini ke server melalui modul Wi-Fi. Dengan menggunakan data yang dikumpulkan dari sistem IoT, kebutuhan air rata-rata harian dan mingguan rumah tangga dapat dihitung. Support vector machine (SVM) digunakan untuk memperkirakan konsumsi air. Pembacaan yang diamati dibagi menjadi dataset pelatihan dan pengujian. Konsumsi air diprediksi untuk setiap hari untuk pengguna. Kesalahan direkam sebagai perbedaan antara konsumsi aktual dan nilai prediksi, dan berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah hari. Sebuah algoritma untuk memantau kebocoran air di tangki juga telah diusulkan. Antarmuka web memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan penggunaan air, memantau konsumsinya, dan mendeteksi kebocoran dan tingkat kebocoran dalam sistem [9].

### 3.4 Big Data dan Cloud Computing

*Cloud computing* (komputasi awan) adalah metode penyampaian berbagai layanan melalui internet. Sumber daya yang dimaksud contohnya adalah aplikasi seperti penyimpanan data, *server*, *database*, jaringan, dan perangkat lunak. Daripada menyimpan banyak file di *hard drive* atau penyimpanan lokal di komputer atau *handphone*, maka penyimpanan yang berbasis *cloud* memungkinkan penyimpanan file raksasa dan berkesinambungan selama ada akses ke internet.

Implementasi dalam pengelolaan sumber daya air dilakukan secara terpadu dengan konsep IoT dan menjadi satu kesatuan dalam jaringan pemantauan distribusi air. Seluruh data yang diakses perlu disimpan dalam server dan dapat diakses secara real time dengan cepat.

Dengan implementasi big data dan cloud computing kita dapat melakukan integrasi dan mengolah informasi dari simpanan data dan mengaksesnya melalui IoT sehingga mendapatkan

perspektif global dari siklus air yang terpadu. Implikasinya adalah tercapainya efisiensi yang menyeluruh.

### 3.5 Human Machine Interface

Pengaplikasian HMI di era revolusi industri 4.0 berfungsi sebagai alat kontrol dan monitoring sebuah sistem yang sedang bekerja atau beroperasi. Penggunaan HMI membantu manusia berkomunikasi dengan mesin, dimana mesin itu sendiri memiliki sistem yang rumit. HMI dikenal dengan ciri-ciri yang terdiri dari operating panel dan monitoring screen pada HMI. Untuk mempermudah cara pengoperasian dan memonitor sistem yang sedang ditinjau, HMI memerlukan PLC (programable logic control) agar terhubung ke sebuah sistem yang ingin dioperasikan. Oleh karena itu, HMI butuh software dan automation engineer sebagai media dan operator agar bisa menjalankan sistem yang berintegrasi dengan sistem automation. Penghubung antara HMI dan PLC berupa protokol sebagai media komunikasi mereka.

Banyak keunggulan penggunaan HMI dalam sistem operasi penyediaan air bersih. Salahsatunya adalah upaya pendistribusian dan maintenance bisa terus dioperasikan secara serentak walaupun sistem sedang mengalami gangguan. Implementasi Human Machine Interface yang digunakan oleh operator untuk pendistribusian bisa mengontrol dan memonitor seluruh jangkauan distribusi air bersih ke seluruh konsumen.

### 3.6 Implementasi Pilar Industri 4.0 di PDAM

Implementasi pilar industri 4.0 sebagian sudah dilakukan pada PDAM Batam [10]. Bidang perbaikan yang dibuat memberikan efek positif dalam hal jumlah tenaga kerja yang lebih sedikit, sehingga biaya operasional dapat ditekan. Memang investasi awal cukup besar, dalam hal mempersiapkan perangkat teknologi di awal implementasi. Namun sejalan perjalanan waktu, aktifitas operasional menjadi efisien dan efektif dan mampu menekan biaya dengan signifikan.

PDAM Malang juga telah menerapkan pilar revolusi industri 4.0 dalam peningkatan kinerjanya. Mereka melakukan inovasi untuk mengintegrasikan sistem informasi dalam pengelolaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) dengan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) secara keseluruhan dapat dimonitor melalui Total Water Utility Integrated Network Command Centre (TCC). Dengan penerapan teknologi digital yang terintegrasi dalam satu sistem tersebut akan mudah dilakukan pemantauan mulai dari pengaduan masyarakat, informasi dari masyarakat, pengawasan kerja dan target kerja yang telah ditetapkan. Pengaduan masyarakat bisa dipantau langsung real time dan bisa lebih cepat direspon dan ditangani. Manajemen PDAM Malang melaporkan peningkatan kinerja yang signifikan setelah menerapkan IOT dan big data dalam pengoperasian PDAM mereka [11].

Mengacu kepada penerapan Sustainable Development Goals (SDGs) tentang pemanfaatan air alam yang berkeadilan dan penggunaan sumber daya alam secara bijaksana, maka teknologi digital yang muncul dapat mendukung kepada upaya pemantauan, kontrol, optimalisasi, dan prediksi konsumsi air tawar dan polusi yang efisien. Ini menjadi indikator bahwa penggunaan sensor, Internet of Things, machine learning, dan analisa big data telah mewarnai sistem pengelolaan air yang pintar (Smart Water Management) [12]

### 3.7 Strategi Implementasi untuk PDAM Aceh

Bagaimana dengan PDAM yang ada di Aceh? Strategi implementasi pilar revolusi industri 4.0 dapat menjadi pilihan cerdas. Pemerintah kabupaten/kota di Aceh dapat menjalin kolaborasi dalam menerapkan IoT. Baik dalam bekerjasama urunan mempersiapkan biaya, sumber daya manusia, dan kolaborasi dalam hal manajemennya.

Strategi yang dapat ditempuh antara lain dengan menggalang kerjasama dengan dunia akademik di universitas, baik itu universitas lokal maupun nasional. Program kolaborasi ini dapat memanfaatkan mahasiswa sebagai tenaga magang maupun tenaga desain yang dapat

diandalkan. Prinsip simbiosis mutualisme menjadi pilihan. Artinya kedua pihak mendapat keuntungan masing-masing dari pola kerjasama ini. Pihak mahasiswa dapat menerapkan ilmunya, dengan cara menjadikan masalah-masalah teknis di PDAM sebagai topik penelitian dan sarana peningkatan ilmunya. Sedangkan Pihak PDAM mendapatkan solusi atas masalah yang dihadapinya.

Strategi yang berikutnya yaitu langsung bekerjasama dengan pihak pemilik teknologi. Bisa dalam bentuk kontrak kerja yang langsung mencari solusi untuk masalah-masalah yang ada. Dalam hal ini seperti yang dilakukan oleh PDAM Batam dan PDAM Malang. Para pengelola PDAM di Aceh perlu menjalin kerjasama dengan PDAM Batam dan PDAM Malang guna memetik pengalaman mereka dalam menerapkan prinsip-prinsip revolusi industri 4.0 dalam pengelolaan PDAM.

Upaya perbaikan kinerja yang dilakukan oleh PDAM Banda Aceh selama ini cukup memuaskan juga. Walikota Banda Aceh selaku pihak yang paling bertanggung-jawab akan pelayanan air bersih untuk penduduk kota sesuai dengan janji kampanye dulu telah bertekad untuk melakukan perbaikan kinerja PDAM. Program pelayanan publiknya ini didukung penuh oleh Direktur Utama PDAM selalu pelaksana teknis operasional PDAM. Tahun 2020 lalu telah dilakukan upaya retrofit dan penambahan pipa besar utama kota Banda Aceh, sehingga terjadi peningkatan kapasitas debit air dari 500 liter/detik menjadi 800 liter/detik [13]. Hari hari ini warga Banda Aceh mulai menikmati layanan baru air bersih yang cukup memuaskan, walau masih terdapat beberapa masalah lain yang perlu terus mendapat perbaikan.

Semangat perbaikan yang ditunjukkan oleh pengelola PDAM di kota Banda Aceh perlu ditularkan kepada semua pengelola PDAM di wilayah Aceh lainnya. Jika kita lihat laporan BPPSPAM tentang kondisi kesehatan PDAM Aceh masih terdapat 70% PDAM di Aceh yang masih tidak sehat. Ini menjadi tantangan tersendiri bagi pemerintah Aceh untuk meningkatkan status PDAM ini setidaknya menyamai prestasi yang diperoleh PDAM Banda Aceh dan lima PDAM lainnya yang telah mendapat predikat Sehat.

Juga menjadi tugas penting bersama pada pihak yang berkepentingan di Aceh baik itu pemerintah daerah, pengelola PDAM, masyarakat pengguna, akademisi, praktisi, serta media untuk bersinergi memikirkan solusi terbaik bagi peningkatan kualitas pelayanan air bersih di Aceh. Dengan sinergi dan kolaborasi tentunya masalah sebesar apapun akan dapat dicarikan jalan keluarnya. Semoga masa depan Aceh yang terang benderang dengan kondisi masyarakat yang maju, modern dan sejahtera dapat kita raih dengan gilang gemilang.

#### 4. KESIMPULAN

Upaya implementasi pilar industri 4.0 dalam pengelolaan PDAM-PDAM di Aceh menjadi sebuah keniscayaan yang paling nyata dengan pertimbangan bahwa penguasaan teknologinya sudah sangat memungkinkan. Aceh memiliki sumber daya manusia yang mumpuni yang tersebar di kampus-kampus universitas di wilayah ini dan sudah mampu mengembangkan sistem pengelolaan manajemen air berbasis pilar industri 4.0. Alasan logis lainnya adalah penerapan IoT, cloud computation dan human machine interfaces dalam pengelolaan PDAM di Aceh akan memberikan kontribusi positif kepada peningkatan kualitas pelayanan, teknikal dan kesehatan finansial perusahaan pengelola,

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik USK yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian penulisan artikel ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utami, S., Pentingnya air bagi kehidupan manusia, *Media Indonesia online*, Kamis 2 September 2021 (<https://mediaindonesia.com/humaniora/429866/pentingnya-air-bagi-kehidupan-manusia>)
  - [2] Gadeng, A.N., Rohmat, D., Ramli, Maulidian, M.O.R., Desfandi, M. dan Aksa, F.I., 2020, Kajian tipologi dan pemanfaatan sumber daya air di Provinsi Aceh, *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 333-341
  - [3] Undang Undang Nomor 17 Tahun 2017 tentang Sumber Daya Air, *Lembaran Negara*
  - [4] Qanun Kabupaten Aceh Utara No. 4 Tahun 2020 tentang Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Pase Aceh Utara
  - [5] Anonim, Finalisasi penilaian kinerja BUMD air minum, *Berita Perpamsi* ([www.perpamsi.or.id](http://www.perpamsi.or.id))
  - [6] Anonim, Hasil penilaian BPKP Aceh, PDAM Tirta Daroy Banda Aceh sehat, *Berita Dinas Perkim Kota Banda Aceh* (<http://perkim.bandaacehkota.go.id/2021/02/07/hasil-penilaian-bpkp-aceh-pdam-tirta-daroy-banda-aceh-sehat/>)
  - [7] Gunawan, A., BPPSPAM dibubarkan, tugasnya berpindah ke sini, *Berita Ekonomi Bisnis* (<https://ekonomi.bisnis.com/read/20200721/45/1269227/bppspam-dibubarkan-tugasnya-berpindah-ke-sini>)
  - [8] Alabi, M.O., Telukdarie, A. dan Rensburg, N.J., Industry 4.0: innovative solutions for the water industry, *Proceedings of the American Society for Engineering Management 2019 International Annual Conference*, ASEM, Huntsville, AL 35805 USA.
  - [9] Gautam, J., Chakrabarti, A., Agarwal, S., Singh, A., Gupta, S. dan Singh, J., 2020, Monitoring and forecasting water consumption and detecting leakage using an IoT system, *Water Supply*, 20(3), 1103-1113
  - [10] Pungki, ATB Batam, Perusahaan air bersih pertama yang sukses implementasikan revolusi industri 4.0, *Berita Sijori* (<https://sijori.id/read/atb-batam-perusahaan-air-bersih-pertama-yang-sukses-implementasikan-revolusi-industri-4-0>)
  - [11] Anonim, Revolusi industri 4.0, PDAM kota Malang beri layanan digital kepada para pelanggan, *Berita Ada di Malang* (<https://adadimalang.com/10396/revolusi-industri-4-0-pdam-kota-malang-beri-layanan-digital-kepada-pelanggan.html>)
  - [12] Aivazidou, E., Baniyas, G., Lampridi, M., Vasileiadis, G., Anagnostis, A., Papageorgiou, E. dan Bochtis, D., 2021, Smart technologies for sustainable water management: an urban analysis, *Sustainability*, 13, 13940
  - [13] Anonim, Tingkatkan pelayanan, PDAM Tirta Daroy benahi perpipaan, *Berita Pemko Banda Aceh* (<https://bandaacehkota.go.id/berita/24224/tingkatkan-pelayanan-pdam-tirta-daroy-benahi-perpipaan.html>)
-