



Artikel Penelitian

Pengelolaan Rantai-Pasok Air Politeknik Industri Logam Morowali Berbasis Industri 4.0

Justiadi¹, Muhammad Iqbal Rianto², Isa Setiasyah Toha³

^{1,2}Program Studi Teknik Listrik dan Instalasi, Politeknik Industri Logam Morowali, Morowali

³Program Studi Teknik dan Manajemen Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung

INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 11 Mei 2023
 Direvisi : 09 Juli 2023
 Diterbitkan : 01 Agustus 2023

KATA KUNCI

Cloud, Computing, Communication Network, IoT, Rantai-Pasok Air.

KORESPONDENSI

E-mail Author Korespondensi:
justiadi@pilm.ac.id

A B S T R A K

Permasalahan pengelolaan rantai-pasok air adalah: air kebutuhan utama, distribusi air buruk, ongkos operasional mahal, keterbatasan sumber daya manusia yang terampil, dan tantangan baru seperti pemanasan global. Untuk menjawab permasalahan tersebut diperlukan pemanfaatan solusi digital dan teknologi cerdas agar ketahanan operasi, peningkatan produktivitas, keselamatan dan keamanan rantai-pasok air terjamin. Penelitian ini merancang bangun sistem pengelolaan rantai-pasok air berbasis pada teknologi Industri 4.0, dengan studi kasus pengelolaan rantai-pasok air kampus Politeknik Industri Logam Morowali dengan tujuan agar distribusi dan ketersediaan air terjaga. Teknologi Industri 4.0 yang dibangun adalah *cyber physical system* yang meliputi: otomasi sistem fisik, perangkat IoT, dan *cloud*. Terdapat perangkat-perangkat IoT di 11 lokasi penampungan air sebagai sumber data yang berfungsi sebagai *nodes* layer IoT yang berkomunikasi melalui frekuensi radio menggunakan *Xbee* untuk mengatasi area yang tidak terjangkau jaringan internet. Aktifitas *nodes* pada jaringan ini dibaca dan difilter oleh *Activity Service* kemudian dikirim ke *database MYSQL* melalui jaringan internet. *Node Activity Service* juga menyimpan data ke memori eksternal AT24C32 sebagai *backup* data jika jaringan internet hilang. Hasil pengembangan sistem pengelolaan rantai pasok air berupa otomasi sistem fisik dan perangkat IoT serta pemanfaatan teknologi I4.0 dengan membangun *cloud* untuk: IoT, *communication network*, dan *computing*. Setelah sistem terpasang, pemantauan dan pengisian air terjadi secara otomatis, petugas memperbaiki ketika ada yang bermasalah. Dengan demikian penerapan teknologi I4.0 pada sistem rantai pasok air dapat memberikan manfaat berupa peningkatan pelayanan penggunaan air dengan menjaga pendistribusian dan ketersediaan air.

PENDAHULUAN

Kebutuhan air bagi masyarakat pedesaan/ perkotaan adalah utama, demikian pula bagi industri. Permintaan air global diproyeksikan oleh *World Economic Forum* melebihi kapasitas 40 % pada tahun 2030 (*World Water Assessment Programme* (United Nations), 2017). Pada saat yang sama volume kehilangan air di seluruh dunia karena distribusi yang buruk, kebocoran, atau bahkan pencurian diperkirakan mencapai 126 miliar meter kubik, dengan biaya sekitar 39 miliar USD per tahun (Liemberger & Wyatt, 2019). Kebanyakan rantai-pasok air minum mengalami kebocoran sebesar 30% sebelum sampai ke kran air. Prancis mengalami kebocoran sebesar 26%, Spanyol dan UK sebesar 22%, dan Jerman sebesar 6.8% (Gold & Hesse, 2015).

Menghadapi permasalahan air, Uni Eropa pada tahun 2012 melakukan proyek penelitian yang dikenal dengan *IceWater (ICT Solutions for Efficient Water Resources Management)* (Gold & Hesse, 2015). Singapura mengembangkan sistem rantai-pasok air cerdas yang terkait dengan manajemen aset, manajemen kebocoran, pemantauan kualitas air, pembacaan meter otomatis dan konservasi air untuk memenuhi kebutuhan utilitas air dan pelanggan (*Public Utilities Board Singapore*, 2016). Sejalan dengan itu, beberapa peneliti juga berkonsentrasi pada pendeteksian dan lokalisasi sumber air (Suresh et al., 2013), pengolahan kualitas air (Adu-Manu et al., 2017), dan sistem distribusi air (Singh & Kekatos, 2020; Zhao et al., 2016).

Penyediaan air dari sumber ke pemakai dapat dilihat sebagai sistem rantai-pasok air. Sitem rantai-pasok air terdiri dari sistem transmisi dan distribusi air yang berbasis



gravitasi atau pompa, dari sumber air setempat atau luar, yang memerlukan sistem pengolahan air (Jeevan Pradhikaran, 2012). Secara garis besar, sistem rantai-pasok air untuk pedesaan/ perkotaan terdiri dari: sumber air (sumur terbuka, sumur pipa, kolam, bendungan, pasokan luar, sistem/ tangki penampung air hujan), penjernih air (sistem *reverse osmosis* (RO), klorinasi, sedimentasi, saringan pasir), penampung air (penampung/ tangki di ketinggian, penampung/ tangki di permukaan tanah, *sump*), distribusi (pipa utama, pipa sub-utama, pipa cabang, *household level tape, stand post, washing unit*).

Di kampus Politeknik Industri Logam Morowali (PILM) terdapat sistem rantai pasok air dimulai dari sumber air, penampung air (penampung/ tangki di permukaan tanah dan dibawah tanah), dan distribusi (pipa utama, pipa sub-utama, pipa cabang, pipa perumahan/ kampus). Permasalahan pada sistem rantai pasok air PILM adalah masih sering terjadi keluhan tidak ada air karena kekosongan air pada penampung air di gedung-gedung dan ketika pengisian seringkali air tumpah karena penampung air sudah penuh sementara pompa belum dimatikan. Selain itu, operator tidak mengetahui penampungan mana yang masih terisi air atau sudah kosong sehingga pengisian dilakukan berdasarkan hasil pantauan di penampungan air atau ketika ada keluhan kekosongan air. Dengan demikian bagaimana menjaga distribusi air pada sistem rantai pasok air PILM sehingga pelayanan ketersediaan air dapat ditingkatkan.

Didorong oleh air adalah kebutuhan yang sangat utama, ongkos operasi yang mahal, keterbatasan sumber daya manusia yang terampil, dan tantangan baru seperti pemanasan global, pemanfaatan solusi digital dan teknologi cerdas diperlukan untuk memperkuat ketahanan operasi, produktivitas, keselamatan dan keamanan dari rantai-pasok air. Integrasi teknologi pengelolaan air yang cerdas menjadi kebutuhan untuk pengelolaan sumber daya air agar tercapai efisiensi yang tinggi, serta kecepatan dalam perencanaan, operasi dan pelayanan (Public Utilities Board Singapore, 2022). Solusi digital, teknologi cerdas, dan teknologi internet merupakan teknologi Industri 4.0 (I4.0).

Penggunaan teknologi I4.0 merupakan penerapan teknologi digital untuk seluruh rantai nilai produksi, yang meliputi perencanaan produksi, teknologi manufaktur, pelayanan, manajemen rantai-pasok dengan menggunakan aplikasi *Internet of Things* (IoT). IoT mengikuti kaidah tiga "a", yaitu: *aware* (merasakan sesuatu), *autonomous* (memindahkan data secara otomatis ke alat atau pelayanan internet), *actionable* (integrasi pada analisis atau kendali) (Verizon, 2015).

Teknologi I4.0 dapat merevolusi sektor air dan meningkatkan produktivitas bisnis. Manfaat IoT untuk sistem rantai-pasok air adalah: monitor kualitas air, pengolahan air dan air kotor, prediksi kerusakan aset, menguraikan hasil pemantauan, konsumsi listrik & biaya, unjuk kerja pompa & pemantauan kesehatan (Prasanth Kumar et al., 2017). Selain menggunakan IoT dalam mengelola air, teknologi I4.0 juga memanfaatkan *Big Data*, dan teknologi *cloud*. *Big Data* menjadi sumber data yang dianalisis dan menginterpretasikan data menjadi informasi yang berguna untuk pengambilan keputusan yang lebih baik. IoT membantu mengelola infrastruktur air dan pasokan air secara efisien menggunakan perangkat cerdas. Sementara teknologi *cloud* membantu meningkatkan produktivitas, kolaborasi, pemeliharaan, dan pemantauan jarak jauh (Omotayo & Telukdarie, 2019).

Pengelolaan rantai-pasok air menggunakan teknologi I4.0 telah banyak dilakukan, antara lain: proyek SWAMP mengembangkan platform manajemen air pintar berbasis IoT untuk irigasi pertanian dengan pendekatan langsung berdasarkan empat pilot proyek di Brasil dan Eropa (Kamienski et al., 2019); penggunaan teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN), IoT, dan *Cloud Computing* (CC) untuk sistem distribusi air (Alshattnawi, 2017); pemanfaatan IoT dan CC pada monitoring sistem irigasi air pertanian (Meher et al., 2019); sistem metering air (Ray & Goswami, 2020); dan sistem monitoring konsumsi air (Harika et al., 2020).

Pada penelitian Alshattnawi (2017) menjelaskan persyaratan khusus secara teoritik yang dibutuhkan untuk penerapan teknologi I4.0 dalam sistem manajemen distribusi air cerdas. Penelitiannya tidak menunjukkan adanya *hardware* yang dibangun.

Pada penelitian Meher et al. (2019) membantu petani dengan menjaga kelembaban tanah sesuai kebutuhan pertanian. Memanfaatkan air hujan sebagai sumber air. Penampungan air dibuat untuk menampung air hujan, sehingga pada musim kemarau air tetap tersedia.

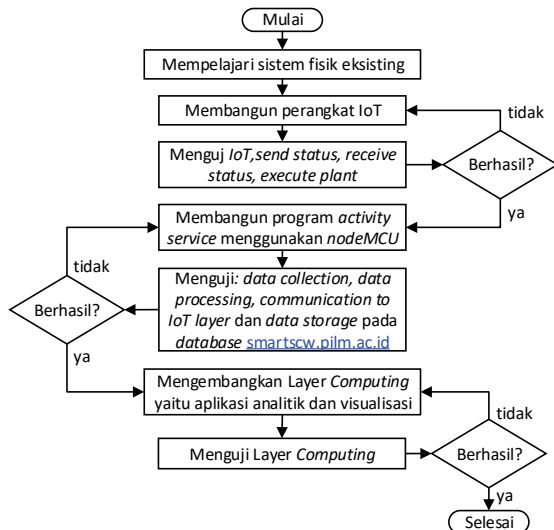
Ray & Goswami (2020) memberikan informasi apakah penggunaan air normal atau tidak, dan Harika et al. (2020) membantu pengguna untuk menumbuhkan rasa tanggung jawab dalam menghemat penggunaan air dengan bantuan informasi utilitas penggunaan air dan estimasi biaya menggunakan aplikasi android. Kedua penelitian ini hanya memberikan informasi penggunaan air tanpa memperhatikan ketersediaan air dari sumber air.

Berbeda dengan penelitian-penelitian di atas, untuk memenuhi kebutuhan penggunaan air maka penelitian ini melakukan rancang bangun sistem pengelolaan rantai-pasok air yang berbasis pada teknologi Industri 4.0 dengan

tujuan agar distribusi dan ketersediaan air terjaga. Studi kasus dilakukan pada sistem rantai pasok air PILM. Untuk memenuhi tujuan tersebut, pengembangan yang dilakukan adalah: (1) merancang bangun perangkat IoT sistem rantai pasok air cerdas meliputi stasiun pompa, distribusi air, dan penggunaan air; (2) merancang bangun *cloud* untuk: IoT, *communication network*, dan *computing*. Pada *cloud* layer IoT, jaringan antar lokasi penampungan air (*node*) berkomunikasi melalui jaringan frekuensi radio menggunakan *Xbee* yang dilengkapi dengan *node Activity Service* yang meneruskan data sensor *nodes* ke internet. Hal ini dilakukan karena tidak seluruh lokasi dapat terjangkau oleh jaringan internet. Melalui penelitian ini diharapkan akan diperoleh model dan prototipe teknologi sistem pengelolaan rantai-pasok air yang berbasis pada teknologi Industri 4.0.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 1. Langkah pertama yang dilakukan adalah mempelajari sistem fisik eksisting. Langkah berikutnya adalah membangun perangkat IoT. Setelah perangkat dibangun, dilakukan pengujian perangkat berupa otomasi perangkat dan pengiriman status setiap *node*. Jika berhasil maka selanjutnya membuat program *activity service* untuk mengirim status *node* ke *cloud*. Status-status yang dikirim disimpan ke *database*. Jika berhasil, maka selanjutnya mengembangkan program layer *computing* untuk aplikasi analitik dan visualisasi.

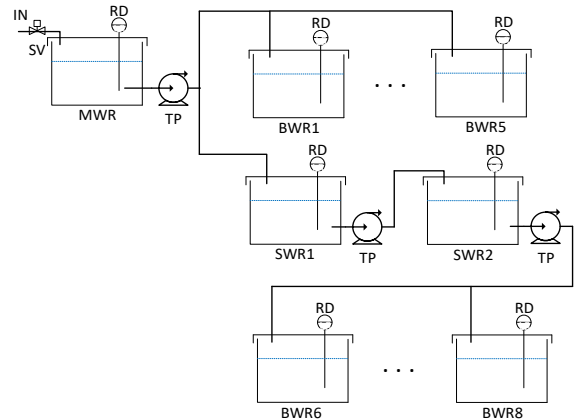


Gambar 1. Flowchart penelitian.

Sistem Existing Rantai-Pasok Air Politeknik Industri Logam Morowali

Sistem rantai pasok air di kampus Politeknik Industri Logam Morowali dimulai dari sumber air yang didapatkan dari industri, penampung air (penampung/ tangki di permukaan tanah dan di bawah tanah), distribusi (pipa

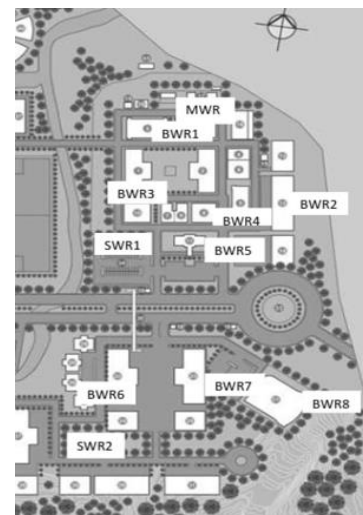
utama, pipa sub-utama, pipa cabang, pipa perumahan/kampus). Gambar 2 memperlihatkan lebih detail sistem tersebut, dan Gambar 3 memperlihatkan posisi dari elemen-elemen pada denah kampus.



Keterangan:

- MWR Penampung Air Utama.
- SWR1 Penampung Air Distribusi 1 Perpustakaan.
- SWR2 Penampung Air Distribusi 2 Bukit.
- BWR1 Penampung Air Gedung 1 Workshop Mekanik TPM.
- BWR2 Penampung Air Gedung 2 Pusat Inovasi.
- BWR3 Penampung Air Gedung 3 Perpustakaan.
- BWR4 Penampung Air Gedung 4 Lab Sains Dasar.
- BWR5 Penampung Air Gedung 5 Rektorat.
- BWR6 Penampung Air Gedung 6 TLI.
- BWR7 Penampung Air Gedung 7 TKM.
- BWR8 Penampung Air Gedung 8 Auditorium.
- SV Katup Solenoid
- RD Sensor Ketinggian Air
- TP Pompa Transfer

Gambar 2. Sistem Rantai-pasok air di kampus Politeknik Industri Logam Morowali.

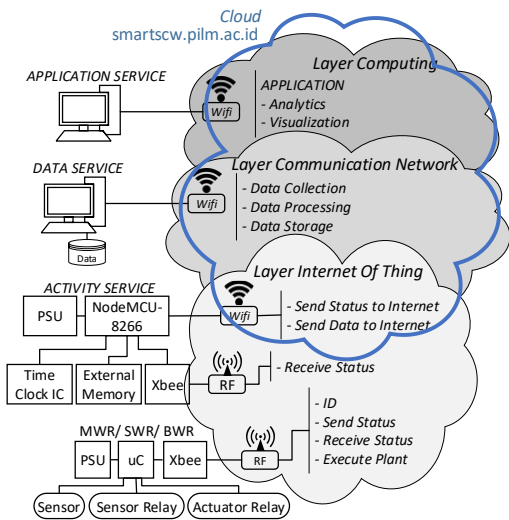


Gambar 3. Posisi pemasangan elemen-elemen rantai-pasok air di kampus Politeknik Industri Logam Morowali.

Perancangan Sistem Rantai Pasok Air Berbasis I4.0

Metode penelitian yang dilakukan berbasis pada pemanfaatan teknologi I4.0 yang meliputi *cloud* untuk: IoT, *Communication Network*, dan *Computing*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Sumber data berasal dari sumber air, stasiun pompa, distribusi air, dan penggunaan air. Untuk memenuhi tercapainya tujuan,

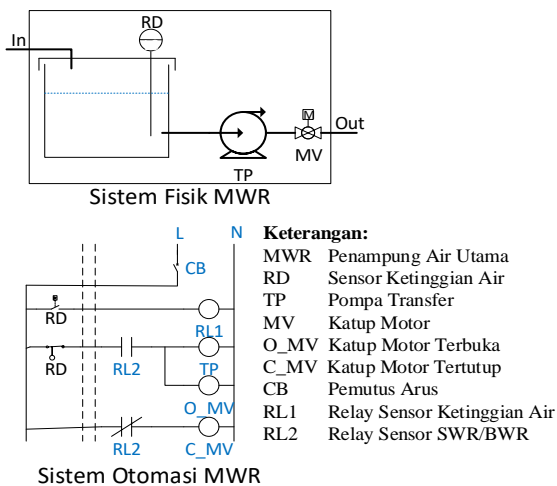
dalam penelitian ini juga dilakukan pengukuran perbandingan sebelum dan setelah sistem terpasang dengan mengukur aspek mode pengisian, respon pengisian, informasi status air, dan informasi kegagalan sistem.



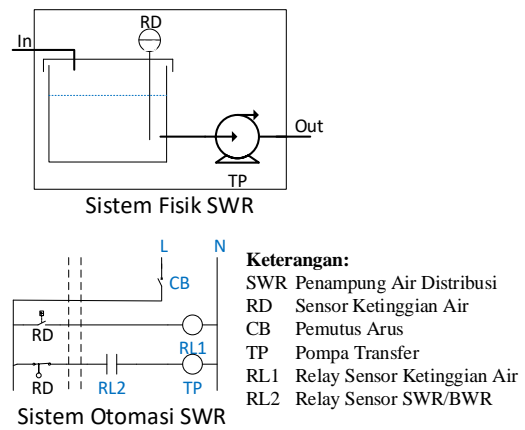
Gambar 4. Perancangan Sistem Rantai-Pasok Air Berbasis I4.0.

Perancangan Perangkat IoT

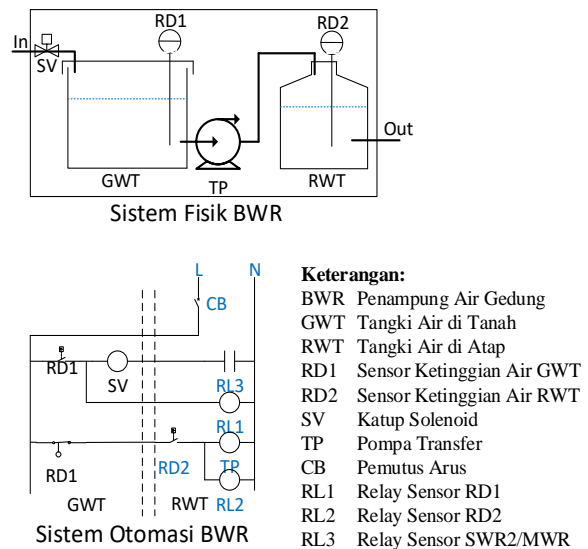
Seperti terlihat pada Gambar 3, Terdapat 11 lokasi penampungan air yang dibagi kedalam 3 kelompok yaitu MWR, SWR, dan BWR. MWR merupakan penampungan utama yang menampung persediaan air untuk seluruh kebutuhan air di kampus. SWR merupakan penampung distribusi/ penghubung antara MWR dan BWR. BWR merupakan penampungan terakhir yang langsung terhubung ke pengguna air. Pada setiap penampungan air terpasang sensor level air dan katup solenoid untuk otomasi pada pengendalian sumber air, distribusi air, dan stasiun pompa. Sistem fisik dan otomasi pada penampungan air MWR, SWR, dan BWR yang dikembangkan masing-masing diperlihatkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 5. Sistem fisik dan otomasi MWR.



Gambar 6. Sistem fisik dan otomasi SWR.



Gambar 7. Sistem fisik dan otomasi BWR.

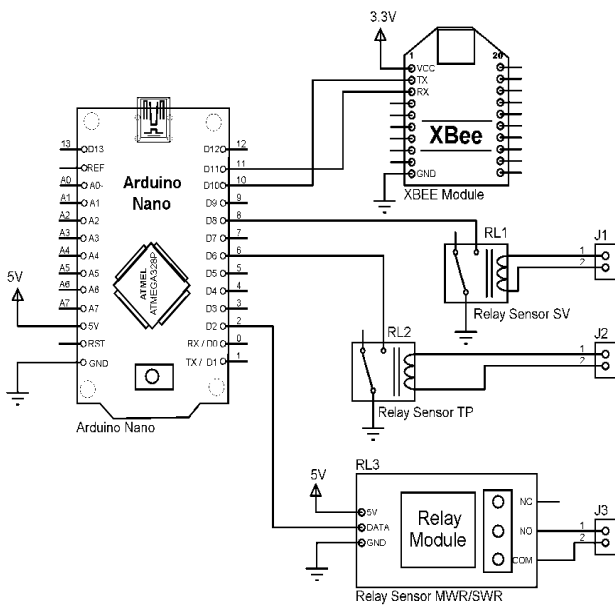
Perangkat IoT node MWR, SWR, dan BWR

Perangkat IoT node MWR, SWR, dan BWR dibangun menggunakan modul *Arduino Nano*, *Xbee pro S3B*, *relay-relay sensor*, dan unit catu daya. Dalam *Arduino Nano* terdapat *ATMega328* yang berfungsi sebagai mikrokontroler untuk melakukan pemrosesan data. *Xbee pro S3B* berfungsi sebagai modul komunikasi pada jaringan radio. *Relay-relay sensor* digunakan untuk mendeteksi kondisi penampungan air pada setiap node. Pada unit catu daya terdapat dua tegangan yaitu 5v dan 3,3v. Tegangan 5v untuk catu daya pada *Arduino Nano* dan *relay-relay*, sedangkan 3,3v untuk *Xbee pro S3B*. Rancangan elektronika perangkat node MWR, SWR, dan BWR diperlihatkan pada Gambar 8.

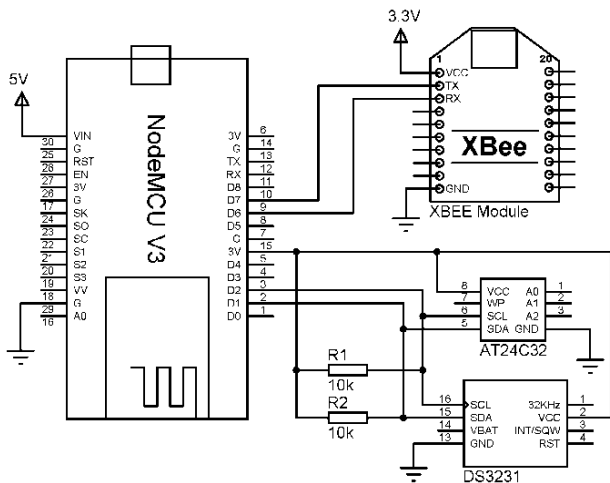
Perangkat IoT node Activity Service

Perangkat IoT node Activity Service berfungsi sebagai penghubung antara nodes (MWR, SWR, dan BWR) dengan internet. Perangkat node Activity Service dibangun menggunakan modul *nodeMCU-8266*, *Xbee pro S3B*, *RTC DS3231*, Memori eksternal *AT24C32*, dan unit catu daya. *nodeMCU* berfungsi sebagai mikrokontroler untuk

melakukan pemrosesan data dan mengirim data ke internet melalui jaringan *Wifi*. *Xbee pro S3B* berfungsi sebagai modul komunikasi pada jaringan radio ke *nodes*. *RTC DS3231* adalah IC jam untuk mendapatkan waktu yang lebih akurat. Memori eksternal *AT24C32* digunakan sebagai penyimpanan sementara jika *node Activity Service* tidak mendapatkan akses internet. Pada unit catu daya terdapat dua tegangan yaitu 5v dan 3,3v. Tegangan 5v untuk catu daya pada *nodeMCU*, *RTC*, dan *AT24C32*, sedangkan 3,3v untuk *Xbee pro S3B*. Rancangan elektronika perangkat *node Activity Service* diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 8. Rancangan elektronika perangkat *node* MWR, SWR, dan BWR

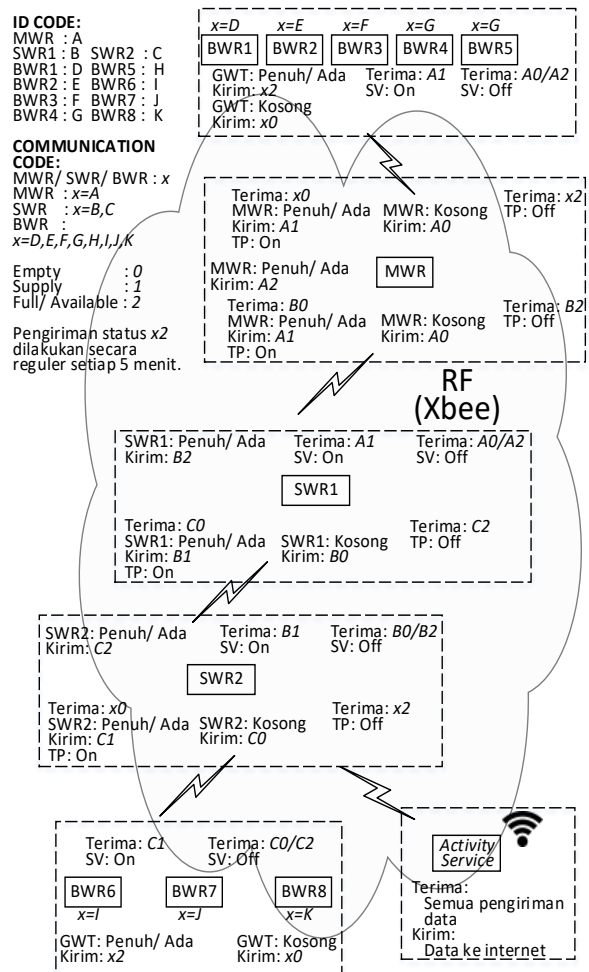


Gambar 9. Rancangan elektronika perangkat *node Activity Service*

Jaringan IoT

Pengembangan IoT pada sistem rantai pasok air di Politeknik Industri Logam Morowali menggunakan modul

Xbee pro S3B yang bekerja pada frekuensi radio. Tidak seperti IoT pada umumnya bahwa setiap *node-node (things)* mengirimkan status mereka langsung ke internet. Pada sistem yang dibangun status-status *node-node* akan diterima oleh *node Activity Service*, kemudian data difilter dan diteruskan oleh *node Activity Service* ke internet. Hal ini dilakukan karena jaringan internet di Politeknik Industri Logam Morowali belum sepenuhnya dapat diakses dari setiap tempat. Status-status aktifitas dan komunikasi setiap *node* diperlihatkan pada Gambar 10.



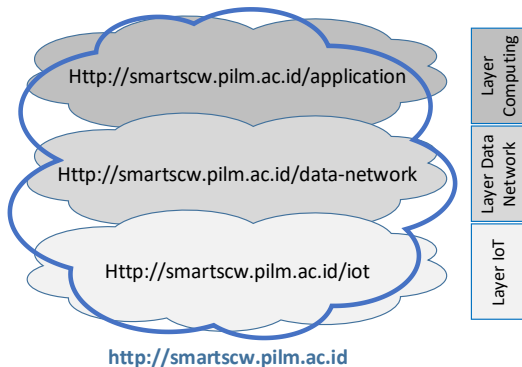
Gambar 10. Komunikasi *node Activity Service* dalam IoT pengelolaan rantai-pasok air Politeknik Industri Logam Morowali.

Pengembangan Struktur Cloud

Cloud yang dikembangkan merupakan domain internet sebagai *server* untuk menyimpan dan mengolah data. Sistem *cloud* yang dibangun terdiri dari *cloud* untuk: IoT, *communication network (data-network)*, dan *computing (application)*. *Cloud* menyimpan program atau data yang dapat diakses langsung atau diakses melalui program tertentu. Struktur *cloud* yang dikembangkan diperlihatkan pada Gambar 11.

Data yang diterima oleh *Activity Service* dari perangkat IoT dikirim ke *cloud* dan disimpan pada layer IoT. Selanjutnya

data tersebut diteruskan ke layer *data-network* untuk diproses lebih lanjut. Dari layer *data-network*, data diteruskan ke layer *computing/ application* yang akan menyajikan visualisasi dan/ atau hasil analisa untuk pengambilan keputusan.



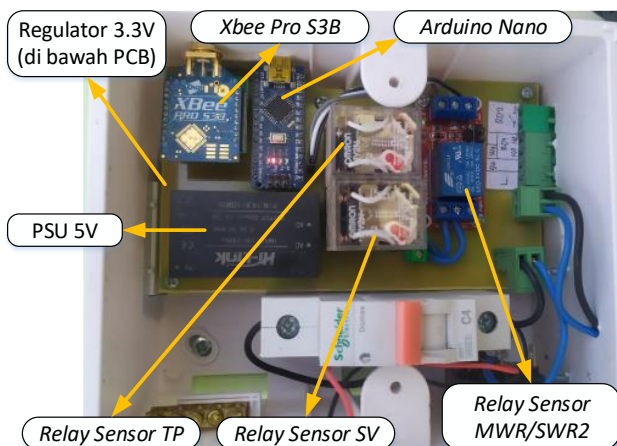
Gambar 11. Struktur cloud sistem rantai pasok air Politeknik Industri Logam Morowali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

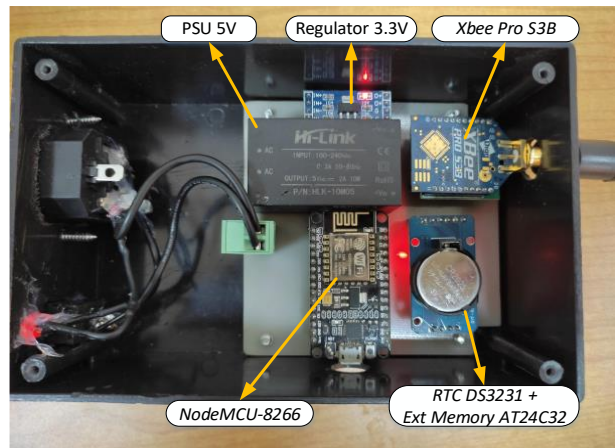
Pengembangan sistem pengelolaan rantai-pasok air Politeknik Industri Logam Morowali menghasilkan model, rancangan, aplikasi dan data. Model dan rancangan pada penelitian ini telah dijelaskan pada bagian metode. Selanjutnya hasil yang didapatkan merupakan rangkaian kegiatan yang akan dijelaskan pada pembahasan berikut.

Perangkat IoT yang Dikembangkan

Perangkat-perangkat IoT (MWR, SWR, BWR, dan *Activity Service*) pada *node water reservoir* dibangun menggunakan modul *Arduino Nano* dan *Xbee Pro S3B*. *Arduino Nano* berfungsi sebagai mikrokontroler pengendali *node*. *Xbee Pro S3B* berfungsi sebagai pengirim informasi status ke *node* yang lain dan ke *node Activity Service*. Gambar 12 memperlihatkan perangkat MWR, SWR, dan BWR, dan Gambar 13 memperlihatkan perangkat *Activity Service*.



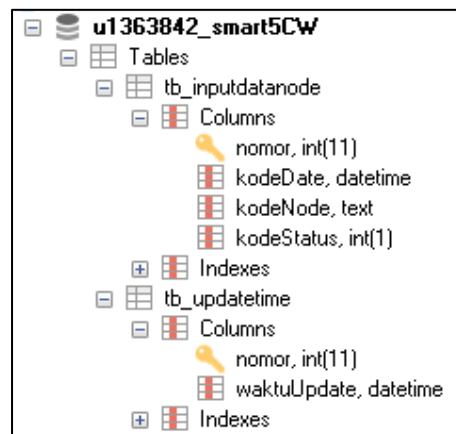
Gambar 12. Perangkat MWR, SWR, dan BWR



Gambar 13. Perangkat *Activity Service*.

Basis-data MySQL smartSCW

SmartSCW (Smart Supply Chain Water) adalah platform yang dikembangkan pada website untuk sistem rantai-pasok air yang dikembangkan. *SmartSCW* menggunakan basis-data (*database*) *MySQL*. Pada bagian pengiriman data dari *node Activity Service* ke basis-data *MySQL* terdapat dua program pengiriman yaitu: (1) pengiriman status *node* jika terjadi perubahan status *node* pada layer IoT, dan (2) pengiriman waktu *update* terakhir *node Activity Service* terhubung ke *server*. Untuk menyimpan data dari kedua program pengiriman ini, pada basis-data *MySQL* dibuat dua tabel, yaitu tabel *tb_inputdatanode* dan tabel *tb_updatetime*. Struktur basis-data *MySQL* diperlihatkan pada gambar 14.



Gambar 14. Struktur basis-data MySQL smartSCW.

Tabel *tb_inputdatanode* dibuat untuk menampung data dari pengiriman status *node*. Pada tabel ini terdapat 4 kolom yaitu kolom nomor, *kodeDate*, *kodeNode*, dan *kodeStatus*. Kolom nomor sebagai *primary key* dan pencacah jumlah 5v pada tabel. Kolom *kodeDate* sebagai kolom yang berisi informasi waktu kapan perubahan status terjadi. Kolom *kodeNode* adalah kolom yang berisi *node* yang mengalami perubahan status. Kolom *kodeStatus* adalah kolom yang berisi perubahan status dari *node*.

Setiap ada data perubahan status *node* yang diterima maka data tersebut di-*insert* (ditambah) ke baris baru pada tabel.

nomor	kodeDate	kodeNode	kodeStatus
1	2021-12-03 15:51:10	F	1B
2	2021-12-03 15:51:10	A	1B
3	2021-12-03 15:51:10	B	1B
4	2021-12-03 16:51:10	C	1B
5	2021-12-03 16:51:10	C	1B
6	2021-12-03 16:51:10	C	1B
7	2000-01-01 15:40:20	C	1B
8	2021-11-23 14:18:25	J	1B
9	2021-11-23 14:25:41	H	1B
10	2021-11-23 14:25:42	A	1B
11	2021-11-23 14:31:55	H	1B

Gambar 15. Tampilan tabel *tb_inputdatanode*.

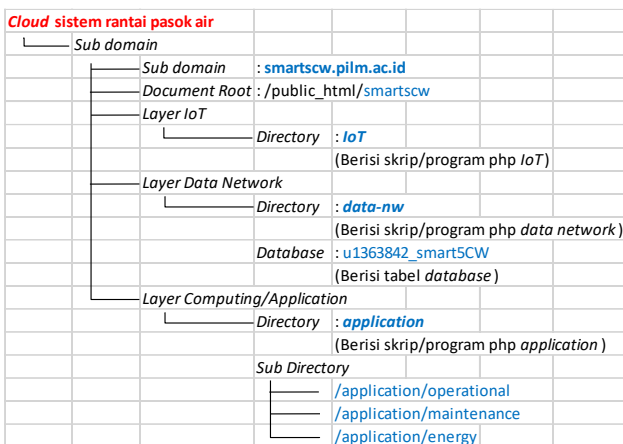
Tabel *tb_updatewaktu* dibuat untuk menampung data dari pengiriman *update* waktu dari *node Activity Service*. Pada tabel ini terdapat 2 kolom yaitu kolom nomor, *waktuUpdate*. Kolom nomor sebagai *primary key*. Kolom *waktuUpdate* sebagai kolom yang berisi informasi waktu terakhir *node Activity Service* terhubung ke server. Isi tabel ini hanya disiapkan untuk satu baris saja. Setiap ada data *update* waktu yang diterima maka data tersebut di-*update* ke tabel yang akan mengganti waktu sebelumnya.

nomor	waktuUpdate
1	2021-12-17 11:39:42
(Auto)	(NULL)

Gambar 16. Tampilan tabel *tb_updatewaktu*.

Struktur Cloud *smartscw.pilm.ac.id*

Pengembangan struktur *cloud* mengacu pada 3 layer *cloud* yang dibangun yaitu: layer IoT, layer *communication network (data-network)*, dan layer *computing (application)*. Gambar 17 memperlihatkan struktur detail *cloud* yang dikembangkan. *Sub-domain* yang digunakan adalah smartscw.pilm.ac.id.



Gambar 17. Struktur detail *cloud*.

Website *smartscw.pilm.ac.id*

Pada penelitian ini dibuat program *website* yang berfungsi sebagai visualisasi dan analisa data sebagai pengembangan

cloud layer computing. Website *smartSCW* memiliki 5 halaman yaitu: *home*, status *node*, status akhir *node*, beban *node*, dan grafik *node*. Struktur program *website smartSCW* yang dikembangkan dapat ditunjukkan pada tabel 1.

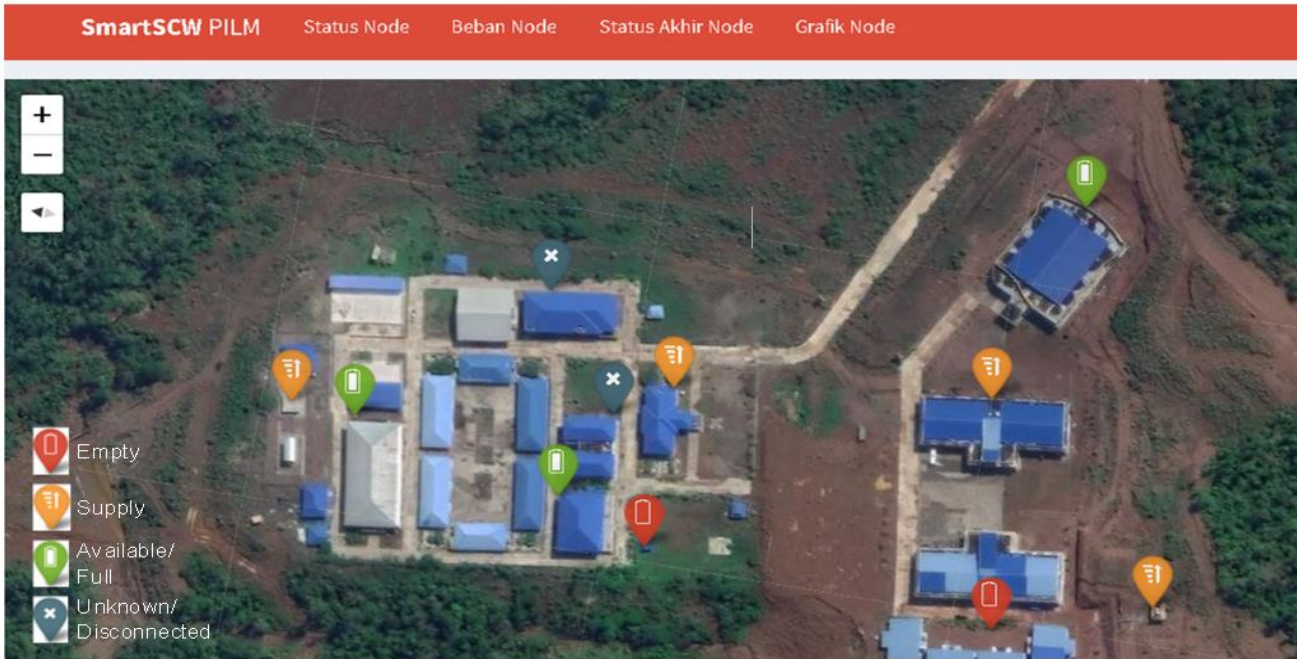
Tabel 1. Struktur program *website smartSCW*.

Website	Link	Keterangan
smartscw.pilm.ac.id	smartscw.pilm.ac.id/public	
Home	...	Tampilan awal ketika mengakses <i>web</i> . Memperlihatkan posisi dan status <i>node</i> pada map
Status Node	.../StatusNode	<i>sub domain</i> yang memperlihatkan <i>row</i> data seluruh <i>node</i> dalam bentuk tabel
Status Akhir Node	.../StatusAkhir	<i>sub domain</i> yang memperlihatkan status akhir <i>node</i> dalam bentuk tabel
Beban Node	.../BebanNode	<i>sub domain</i> yang memperlihatkan beban kerja <i>node</i> dalam jam, di dalamnya terdapat total jam kerja, waktu <i>empty</i> , <i>supply</i> , <i>available/ full</i> , dan <i>unknown (disconnected)</i> . Ditampilkan dalam bentuk tabel
Grafik Node	.../GrafikNode	<i>sub domain</i> yang memperlihatkan status <i>node</i> dalam bentuk grafik. Di dalamnya dapat dipilih grafik <i>node</i> mana yang akan ditampilkan.

Home

Home merupakan istilah umum yang digunakan sebagai halaman awal ketika membuka sebuah *website*. Halaman awal *website smartSCW* berupa informasi posisi dan status *node* dalam bentuk map. Halaman *home* ditunjukkan pada gambar 18.

Pada halaman *home website* terlihat *view* kampus Politeknik Industri Logam Morowali yang diakses melalui *google map*. Dalam *map* terdapat *marker* yang menunjukkan posisi *node* berada. Pada *marker* terlihat warna dan *icon* yang berbeda-beda. Setiap warna *marker* memiliki *icon*-nya sendiri-sendiri yang menunjukkan status dari *node*.



Gambar 18. Halaman website smartSCW.

Status Node

Status node adalah salah satu sub domain dari smartSCW. Pada sub domain ini data mentah (row data) ditampilkan dalam bentuk tabel. Dalam tabel berisi kolom nomor, tanggal, node, dan status. Gambar 19 memperlihatkan halaman status node.

Status Node SmartSCW			
Data Status Node			
No	Tanggal	Node	Status
1	14-12-2021 12:42:36	BWR7 TKM	Empty
2	2021-12-14 12:22:23	BWR7 TKM	Supply
3	2021-12-14 09:24:50	BWR6 TLI	Empty
4	2021-12-14 09:23:37	BWR8 Auditorium	Empty
5	2021-12-14 09:21:08	BWR3 Perpustakaan	Available/Full
6	2021-12-14 09:14:27	BWR8 Auditorium	Supply
7	2021-12-14 09:13:31	BWR3 Perpustakaan	Supply
8	2021-12-14 09:11:04	BWR6 TLI	Supply
9	2021-12-14 09:04:51	BWR3 Perpustakaan	Empty
10	2021-12-14 08:57:53	BWR3 Perpustakaan	Supply

Gambar 19. Halaman sub domain status node.

Status Akhir Node

Status akhir node adalah juga merupakan salah satu sub domain dari smartSCW. Pada sub domain ini ditampilkan waktu terakhir node Activity Service terhubung ke website. Selain itu pada sub domain ini juga ditampilkan status terakhir setiap node dalam bentuk tabel. Halaman ini adalah bentuk lain melihat status akhir selain menggunakan map pada halaman utama. Dalam tabel

berisi kolom nomor, node, status, dan aktif. Gambar 20 memperlihatkan halaman status akhir node.

Status Akhir Node SmartSCW			
Waktu Update Terakhir 2022-03-18 08:02:26			
No	Node	Status	Aktif
1	MWR0 WTP	Supply	Yes
2	SWR1 SWR Perpustakaan	Available/Full	Yes
3	SWR2 SWR Bukit	Unknown (Disconnected)	No
4	BWR1 Workshop Mekanik TPM	Unknown (Disconnected)	No
5	BWR2 Pusat Inovasi	Unknown (Disconnected)	No
6	BWR3 Perpustakaan	Available/Full	Yes
7	BWR4 Lab. Sains Dasar	Unknown (Disconnected)	No
8	BWR5 Rektorat	Unknown (Disconnected)	No
9	BWR6 TLI	Supply	Yes
10	BWR7 TKM	Empty	Yes
11	BWR8 Auditorium	Empty	Yes

Gambar 20. Halaman sub domain status akhir node.

Beban Node

Beban node adalah salah satu sub domain dari smartSCW yang menampilkan beban kerja node dalam jam. Dalam tabel berisi kolom nomor, node, total jam kerja, empty, supply, available/ full, dan unsknown (disconnected). Setiap status ditampilkan dalam jam dan %. Gambar 21 memperlihatkan halaman beban node.

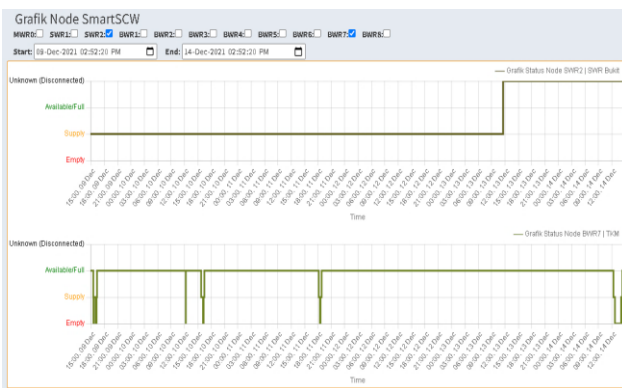
No	Node	Total Jam Kerja [jam]	Empty		Supply		Available/Full		Unknown (Disconnected)	
			Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%
1	MWR0 WTP	168.0	11.8	7.0	133.0	79.2	22.4	13.4	0.8	0.4
2	SWR1 SWR Perpustakaan	168.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166.0	100.0	0.0	0.0
3	SWR2 SWR Bukit	168.0	0.0	0.0	99.5	59.2	0.0	0.0	68.5	40.8
4	BWR1 Workshop Mekanik TPM	168.0	99.5	59.2	0.0	0.0	0.0	0.0	68.5	40.8
5	BWR2 Pusat Inovasi	168.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.5	59.2	68.5	40.8
6	BWR3 Perpustakaan	168.0	11.4	6.8	15.2	9.0	133.5	79.5	9.0	4.7
7	BWR4 Lab. Sains Dasar	168.0	99.6	59.3	0.0	0.0	0.2	0.1	68.3	40.6
8	BWR5 Rektorat	168.0	97.7	58.2	1.6	1.0	0.2	0.1	68.5	40.8
9	BWR6 TLI	168.0	138.1	82.2	5.4	3.2	24.5	14.6	0.0	0.0
10	BWR7 TKM	168.0	2.1	1.2	2.2	1.3	163.7	97.4	0.0	0.0
11	BWR8 Auditorium	168.0	103.6	61.7	19.8	11.8	0.2	0.1	44.5	26.5

Gambar 21. Halaman *sub domain* beban *node*.

Pada gambar 18 bagian kiri atas terlihat ada 2 isian waktu yaitu waktu *start* dan waktu *end*. Secara *default* rentang waktu diatur 7 hari ke belakang dari waktu terakhir *node Activity Service* terhubung ke *website*. Namun selain itu, waktu ini dapat diisi secara manual sesuai kebutuhan. Pada gambar juga terlihat kolom total jam kerja bernilai 168 jam, karena rentang waktu *default* 7 hari = 168 jam. Total jam kerja ini dibagi ke dalam empat bagian waktu kerja *node*, yaitu waktu *empty*, waktu *supply*, waktu *available/full*, dan waktu *unknown (disconnected)*.

Grafik Node

Grafik *node* adalah salah satu *sub domain* dari *smartSCW* yang menampilkan status setiap *node* dalam bentuk grafik. Pada halaman ini dipergunakan untuk melihat *row data* dalam bentuk grafik. Gambar 22 memperlihatkan halaman grafik *node*.



Gambar 22. Halaman *sub domain* grafik *node*.

Perbandingan Kinerja Sebelum dan Setelah Sistem Terpasang

Untuk melihat seberapa efektif pemanfaatan sistem yang dibangun, dilakukan pengukuran perbandingan kinerja terhadap proses penyediaan air baik sebelum maupun setelah sistem dipasang. Aspek yang ditinjau adalah mode pengisian, respon pengisian, informasi status air, dan informasi kegagalan sistem.

Tabel 2 Perbandingan kinerja sebelum dan setelah sistem dipasang

Kriteria	Perbandingan Kinerja	
	Sebelum Sistem Dipasang	Setelah Sistem Dipasang
Mode pengisian	Manual	Otomatis
Respon pengisian	Berdasarkan pemantauan rutin petugas atau keluhan pengguna.	± 5 detik. Pengisian secara otomatis.
Informasi status air di penampungan	Tidak ada	Ada, secara <i>real time</i> berdasarkan hasil monitoring pada <i>website</i> .
Informasi kegagalan sistem	Ketika ada keluhan pengguna	Secara <i>real time</i> berdasarkan hasil monitoring pada <i>website</i> .

Pada tabel 2 terlihat bahwa sebelum sistem terpasang, mode pengisian masih manual. Karena tidak ada informasi kondisi air di setiap penampungan, maka petugas kesulitan untuk mengetahui penampungan mana yang airnya kosong. Dengan demikian pengisian akan dilakukan berdasarkan pantauan rutin petugas atau ketika ada keluhan kekosongan air.

Setelah sistem terpasang mode pengisian berubah menjadi otomatis. Dengan demikian pengisian air menjadi lebih responsif dengan rata-rata 5 detik setelah terdeteksi penampungan air kosong. Dengan adanya sistem informasi yang dibangun pada *website* maka status air di penampungan dan informasi kegagalan sistem dapat terbaca secara *real time*, sehingga memberikan kemudahan kepada petugas melakukan pantauan dan dengan segera melakukan perbaikan jika terjadi masalah.

KESIMPULAN

Sistem rantai-pasok air yang dikembangkan meliputi otomatisasi pada *Main Wate Recervoir (MWR)*, *Sub Water Recervoir (SWR)*, dan *Building Water Recervoir (BWR)*. Elemen-elemen ini berada pada jaringan layer IoT yang berkomunikasi melalui jaringan radio menggunakan *Xbee*. Untuk menghubungkannya ke internet digunakan modul *Activity Service*. Sistem pengelolaan rantai pasok air tersebut dikembangkan menggunakan konsep Industri 4.0, yang terdiri dari *cloud* untuk: IoT, *Communication Network*, dan *Computing*. *Cloud* dibangun pada *website smartscw.pilm.ac.id/public*. *Cloud layer computing* pada sistem tersebut terdiri dari bagian visualisasi dan bagian analitik. Bagian visualisasi menampilkan aktifitas dalam bentuk map, tabel, dan grafik, sedangkan bagian analitik menampilkan beban kerja *node* dalam jam. Sebagai studi kasus adalah pengelolaan rantai-pasok air di area kampus Politeknik Industri Logam Morowali. Sebelum sistem ini

terpasang pengisian dilakukan secara manual berdasarkan pantauan petugas atau ketika ada keluhan. Setelah sistem terpasang, pemantauan dan pengisian secara otomatis, petugas memperbaiki ketika ada yang bermasalah.

SARAN PENGEMBANGAN

Pada penelitian ini, proses analitik pada *cloud layer computing* masih memperlihatkan analitik yang sederhana. Untuk pengembangan selanjutnya perlu pengembangan analitik, khususnya terkait peningkatan pelayanan dan efisiensi penggunaan air. Dengan demikian disarankan untuk adanya informasi langsung perilaku tidak normal pada perangkat IoT, informasi besarnya konsumsi air, waktu operasi pompa untuk *maintenance*, penggunaan energi listrik, dan lain-lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Politeknik Industri Logam Morowali yang telah memberikan dukungan dana terhadap penelitian ini melalui skema penelitian internal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adu-Manu, K. S., Tapparelo, C., Heinzelman, W., Katsriku, F. A., & Abdulai, J.-D. (2017). Water Quality Monitoring Using Wireless Sensor Networks. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 13(1), 1–41. <https://doi.org/10.1145/3005719>
- Alshatnawi, S. K. (2017). Smart Water Distribution Management System Architecture Based on Internet of Things and Cloud Computing. *2017 International Conference on New Trends in Computing Sciences (ICTCS)*, 289–294. <https://doi.org/10.1109/ICTCS.2017.31>
- Gold, S., & Hesse, J. (2015, August 28). *Digital Systems Smarten Up Water Network*. Phys.Org. <https://phys.org/news/2015-08-digital-smarten-networks.html>
- Harika, G. L., Chowdary, H., & Kiranmai, T. S. (2020). Cloud-based Internet of things for Smart Water Consumption Monitoring System. *2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 967–972. <https://doi.org/10.1109/ICCES48766.2020.9138074>
- Jeevan Pradhikaran, M. (2012). *Module 1 BASICS OF WATER SUPPLY SYSTEM Training Module for Local Water and Sanitation Management Basics of Water Supply System-Training Module for Local Water and Sanitation Management*.
- Kamienski, C., Soininen, J.-P., Taumberger, M., Dantas, R., Toscano, A., Salmon Cinotti, T., Filev Maia, R., & Torre Neto, A. (2019). Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture. *Sensors*, 19(2), 276. <https://doi.org/10.3390/s19020276>
- Liemberger, R., & Wyatt, A. (2019). Quantifying the global non-revenue water problem. *Water Supply*, 19(3), 831–837. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.129>
- Meher, C. P., Sahoo, A., & Sharma, S. (2019). IoT based Irrigation and Water Logging monitoring system using Arduino and Cloud Computing. *2019 International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking (ViTECoN)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ViTECoN.2019.8899396>
- Omotayo, A. M., & Telukdarie, A. (2019). Industry 4.0: Innovate Solutions for the Water Industry. *Proceedings of the American Society for Engineering Management 2019 International Annual Conference*. <https://www.researchgate.net/publication/339055922>
- Prasanth Kumar, C. R., Kanti Mondal, T., & Technology Solutions, C. (2017). *Digital Disruption in the Water Utility Value Chain*.
- Public Utilities Board Singapore. (2016). Managing the water distribution network with a Smart Water Grid. *Smart Water*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s40713-016-0004-4>
- Public Utilities Board Singapore. (2022, January). *Singapore Water Story*. Pub.Gov.Sg. <https://www.pub.gov.sg/watersupply/singaporewaterstory>
- Ray, A., & Goswami, S. (2020). IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System. *2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and Its Control (PARC)*, 308–313. <https://doi.org/10.1109/PARC49193.2020.236616>
- Singh, M. K., & Kekatos, V. (2020). Optimal Scheduling of Water Distribution Systems. *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, 7(2), 711–723. <https://doi.org/10.1109/TCNS.2019.2939651>
- Suresh, M. A., Stoleru, R., Zechman, E. M., & Shihada, B. (2013). On Event Detection and Localization in Acyclic Flow Networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 43(3), 708–723. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2012.2210411>
- Verizon. (2015). *State of the Market: Internet of Things 2015*.
- World Water Assessment Programme (United Nations). (2017). *Wastewater: the untapped resource: the United Nations world water development report 2017*.
- Zhao, W., Beach, T. H., & Rezgui, Y. (2016). Optimization of Potable Water Distribution and Wastewater Collection Networks: A Systematic Review and Future Research Directions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 46(5), 659–681. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2015.2461188>