

Sistem Pengiriman Data Antar Mesin Menggunakan Modul Radio LoRa HC-12 pada Prototipe *Smart Water Meter* Berbasis Mikrokontroler

Intan Purnama Sari¹, Teddi Hariyanto²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : intan.purnama.tcom416@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : teddihariyanto@yahoo.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi saat ini membuat setiap mesin dapat saling terhubung atau dikendalikan dari jarak jauh. Adanya era *Internet of Things* (IoT) dapat memudahkan kehidupan manusia seperti penerapan *smart water meter* pada bidang *smart environment*. *Smart water meter* merupakan sistem meteran air cerdas yang dapat melakukan perhitungan aliran air secara digital. Hal itu diwujudkan dengan menggunakan suatu protokol dalam membangun komunikasi antar mesin atau yang disebut M2M (*machine to machine communication*). Sistem komunikasi M2M minimal perlu dibangun dua bagian, yaitu perangkat *sensor node*, dan perangkat *gateway*. Antara *sensor node* dengan *gateway* dihubungkan menggunakan modul radio LoRa. Setiap negara memiliki regulasi frekuensi kerja yang berbeda untuk teknologi nirkabel berdaya rendah ini, misalnya pada frekuensi 433 MHz, 868 MHz, atau 915 MHz. Hasil realisasi prototipe ini memiliki jarak jangkauan transmisi data sejauh 100 meter pada kondisi ruang terbuka siang hari, dan 50 meter pada kondisi malam hari. *Sensor node* mendapat data dari sensor dan dikirim ke *gateway* melalui modul LoRa HC-12, kemudian *gateway* meneruskan data ke server menggunakan koneksi Wi-Fi agar data dapat disimpan ke dalam server *database*. *Database* tersebut ditampilkan ke pengguna melalui halaman web untuk mengetahui informasi penggunaan air beserta biayanya.

Kata Kunci

Gateway, Komunikasi antar mesin, LoRa, Sensor node, Sistem meteran air cerdas

1 PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi masa kini, mesin-mesin dapat saling terhubung dan terpantau secara jarak jauh. Akibat kemajuan era teknologi industri 4.0 melahirkan teknologi *Internet of Things* (IoT) agar dapat memudahkan kehidupan manusia. Dengan adanya IoT, suatu mesin dapat mengirim informasi secara *realtime* ke banyak obyek mesin lainnya dan menciptakan interaksi antara dunia maya dan dunia nyata. Implementasi IoT mampu mengontrol dan mengintegrasikan semua infrastruktur termasuk dalam menciptakan lingkungan yang cerdas (*smart environment*).

Dalam mewujudkan *smart environment* tentu memiliki beberapa sub indikator untuk memberikan keberlanjutan sumber daya, salah satunya *smart water meter*. *Smart water meter* merupakan sistem integrasi meteran air cerdas yang dapat melakukan perhitungan aliran air yang dapat dipantau secara digital. Hal itu dapat diwujudkan dengan menggunakan suatu protokol dalam membangun komunikasi antar mesin atau yang disebut M2M (*machine to machine communication*).

Untuk dapat membangun suatu sistem komunikasi antar mesin atau M2M (*machine to machine*

communication) minimal perlu dibangun dua bagian, yaitu titik *sensor node* atau *end device*, dan titik konsentrator atau *gateway*. *Sensor node* ini akan mendapat data dari sebuah sensor sebagai inputnya, sedangkan *gateway* berfungsi untuk menjembatani *sensor node* dengan sebuah server apabila diperlukan untuk menyimpan datanya. Protokol komunikasi yang dibangun antara *sensor node* dengan *gateway* menggunakan modul radio LoRa. Setiap negara memiliki regulasi frekuensi kerja yang berbeda untuk teknologi nirkabel berdaya rendah ini, misalnya pada frekuensi 433 MHz, 868 MHz, atau 915 MHz. Khususnya benua Asia menggunakan frekuensi kerja 433 MHz. Teknologi LoRa juga memiliki jangkauan komunikasi lebih dari 2 km dengan konfigurasi dan lingkungan yang sesuai [1]. LoRa cocok digunakan untuk komunikasi antar mesin karena berdaya baterai rendah dan berdaya jangkauan luas [2].

Adanya pembuatan sistem ini diharapkan dapat melakukan perhitungan aliran air pada prototipe *smart water meter* secara digital dan *realtime*, serta dapat melakukan pengiriman data ke pusat data secara periode yang telah ditentukan. Prototipe alat ini diberi nama **Warmsys**, karena mengambil dari kalimat singkatan *Water Meter System* agar mudah dalam penyebutan namanya.

2 LANDASAN TEORI

2.1 Smart Water Meter

Smart Water Meter atau integrasi meteran air cerdas merupakan integrasi data meter yang dapat mengukur jumlah konsumsi air di sebuah gedung atau rumah ke dalam sistem pencatatan (*billing*) dan dapat berbagi informasi dengan pelanggan. Tujuannya agar pengelolaan air menjadi lebih mudah, di sisi penyedia layanan air dapat mengumpulkan informasi penggunaan air pelanggan dan biaya tagihan berdasarkan data yang efektif dan akurat, serta memiliki kontrol atas jaringan distribusi dan titik pelanggan. Selain itu, di sisi pelanggan, data pengukuran air yang didapatkan secara *real time* dapat dipantau oleh pelanggan guna meningkatkan kesadaran konsumsi air dan menghindari pemborosan sumber daya [3].

2.2 Machine to Machine Communication

Machine-to-Machine communication atau M2M merupakan dua mesin yang “berkomunikasi” atau saling bertukar data tanpa antarmuka atau interaksi manusia [4]. Proses ini dapat berupa koneksi serial, *powerline*, atau komunikasi nirkabel (*wireless*) seperti IoT. M2M dapat menghubungkan dua mesin secara kabel atau nirkabel. Peralihan ke nirkabel membuat M2M memungkinkan lebih mudah diaplikasikan.

Contoh penerapan M2M dalam beberapa bidang diantaranya bidang manufaktur, pengelolaan infrastruktur, *monitoring* lingkungan dan bidang lainnya. Pada bidang manufaktur dapat diterapkan untuk proses otomasi manufaktur sehingga dapat meningkatkan proses manufaktur. Bidang pengelolaan infrastruktur menerapkan M2M seperti otomasi palang pintu kereta api, dan sistem *monitoring* pelabuhan yang berguna untuk operator pelabuhan. Bidang pengelolaan lingkungan mengaplikasikan M2M seperti sistem pencegahan kebakaran yang terintegrasi, dan sistem meteran air yang terintegrasi (*smart water meter*).

2.3 LoRa

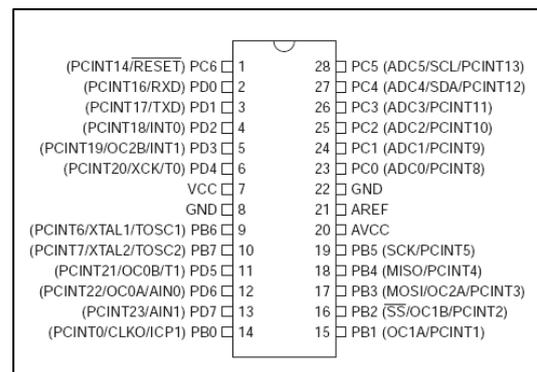
LoRa (*Long Range*) merupakan sistem komunikasi nirkabel untuk IoT, menawarkan komunikasi jarak jauh (>15 km di *remote area*) dan berdaya rendah (5–10 tahun) [5]. LoRa merupakan teknologi IoT yang di bangun oleh Cycleo of Grenoble (Prancis), lalu di akuisisi oleh Semtech pada 2012 [6]. LoRa *Physical Layer Protocol* bekerja pada pita frekuensi 433, 868, 915, 923 MHz bergantung pada regulasi masing masing negara [7].

LoRa memiliki kemampuan komunikasi jarak jauh dan berdaya rendah, sehingga penggunaannya cocok untuk perangkat sensor yang dioperasikan tahunan dengan sumber daya baterai dan pada cakupan area

yang luas [7]. Namun, LoRa memiliki kecepatan transmisi data yang terbatas yaitu pada sekitar 0.3-50 kbps. Aplikasi seperti ini cocok digunakan untuk transmisi data sensor meteran air, meteran listrik, sensor pintu, sensor parkir, sensor ketinggian air sungai, dan lain-lain [8].

2.4 Mikrokontroler

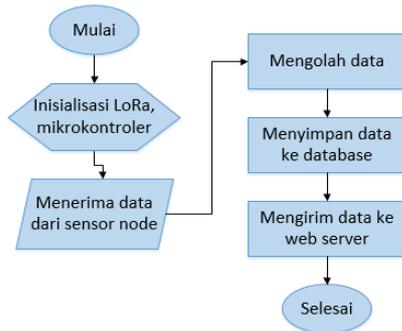
Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik yang terdiri dari CPU (*Control Processing Unit*), memori, I/O (*Input/Output*), bahkan sudah dilengkapi ADC (*Analog-to-Digital Converter*) yang sudah terintegrasi di dalamnya [9]. Salah satu jenis mikrokontroler yang didalamnya terdapat berbagai macam fungsi yaitu AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*). Kelebihannya tidak perlu menggunakan osilator eksternal karena sudah memiliki osilator internal. ATmega328 adalah mikrokontroler keluaran Atmel yang merupakan anggota keluarga dari AVR 8 bit [10]. Mikrokontroler ini memiliki kapasitas *flash* sebesar 32 KB, memori 2 KB, dan EEPROM sebesar 1 KB. Kecepatan maksimum yang dapat dicapai adalah 20 MHz. ATmega328 memiliki 28 pin dengan setiap pin memiliki fungsinya masing-masing. Konfigurasi pin ATmega328 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega328

2.5 Water Flow Sensor

Water flow sensor digunakan dalam pengendalian aliran air pada sistem distribusi air, sistem pendinginan berbasis air, dan aplikasi lainnya yang membutuhkan pengecekan terhadap debit air yang dialirkan [11]. *Water flow sensor* tipe YF-S201 yang ditunjukkan Gambar 2 dapat mendeteksi aliran air hingga 30L/menit (1800L/jam) [12].



Gambar 6 Diagram alir gateway

Gateway melakukan inisialisasi modul LoRa HC-12 dan mikrokontroler. Kemudian, gateway akan menunggu data yang dikirim dari sensor node. Setelah data diterima, data akan disimpan ke server database melalui interface aplikasi Visual Basic. Fungsi gateway hanya meneruskan data yang diterima dari sensor node ke server. Data yang tersimpan nantinya akan ditampilkan melalui halaman interface web untuk dapat diakses oleh pengguna.

3.4 Realisasi Rangkaian Sensor Node

Proses disain Printed Circuit Board (PCB) rangkaian sensor node dilakukan menggunakan aplikasi, kemudian dicetak dengan spesifikasi FR-4 single layer berukuran 9 cm x 5 cm. Tabel 1 menunjukkan nama-nama komponen yang terpasang pada PCB sensor node.

Tabel 1 List komponen rangkaian sensor node

No	Jenis Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	ATMega328-PU	28 pin DIP	1
2	Modul RTC	DS1307	1
3	Radio LoRa	HC-12 433MHz	1
4	Water Flow Sensor	YF-S201	1
5	I2C LCD	Input 5V	1
6	Micro USB	Micro Type B	1
7	Regulator tegangan	LM7805	1
8	Resistor ¼ watt	330 Ω	3
		4.7k Ω	3
		470 Ω	1
		1k Ω	1
		10k Ω	1
9	Kapasitor polar	10µF	1
10	Dioda Rectifier	1N4007	2
11	Push button	4 pin	2
12	LED	Kuning	1
		Merah	1
13	Jack DC Power	Female connector	1
14	Buzzer	Input 5V	1

Selanjutnya, komponen-komponen tersebut dirakit dan disolder seluruhnya agar menempel pada PCB. Realisasi rangkaian sensor node dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Rangkaian sensor node

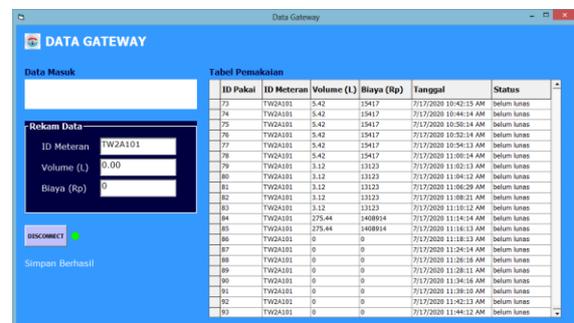
3.5 Realisasi Rangkaian Gateway dan Aplikasi Antarmuka

Rangkaian gateway pada Gambar 8 dirangkai menggunakan papan protoboard dengan menyambungkan komponen-komponen menggunakan kabel jumper.



Gambar 8 Rangkaian gateway

Saat gateway menerima data, data akan terbaca melalui aplikasi Visual Basic yang telah terkoneksi dengan port komunikasi gateway. Kemudian Visual Basic akan memasukkan data tersebut ke tabel pemakaian pada server database. Tabel tersebut juga dapat dilihat pada antarmuka aplikasi untuk memastikan data yang baru diterima benar-benar tersimpan pada server database. Gambar 9 menunjukkan antarmuka aplikasi gateway yang telah dibuat.

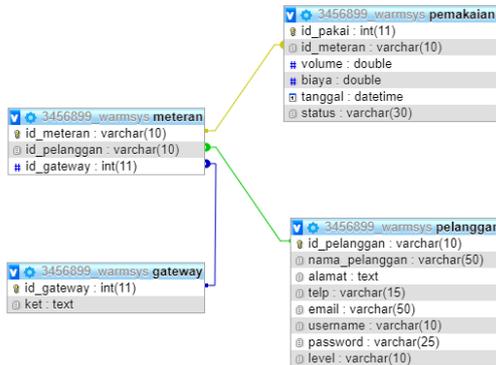


Gambar 9 Antarmuka aplikasi gateway

3.6 Implementasi Database dan Web Server

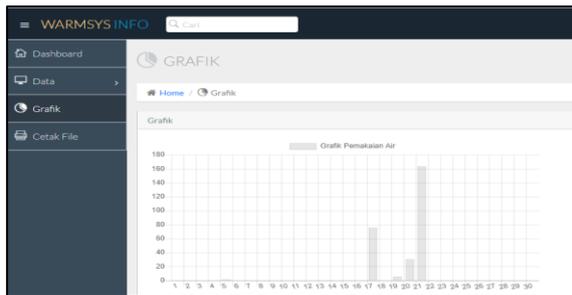
Adanya server database berfungsi untuk mengelola data yang diterima dari sensor node. Database berisi 4 tabel, yaitu tabel gateway, meteran, pelanggan,

dan *pemakaian*. Relasi tabel *database* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Relasi antar tabel pada server *database*

Realisasi web server berisi beberapa halaman yang berfungsi sebagai sistem antarmuka pengguna (*user interface*) untuk menunjukkan sebuah informasi didalamnya. Gambar 11 menunjukkan salah satu halaman web yang menampilkan grafik data pemakaian air selama satu bulan pada salah satu akun pelanggan atau *user*.



Gambar 11 Halaman web grafik data pemakaian air pelanggan selama satu bulan

3.7 Realisasi Mekanik Pendukung

Pada Gambar 12 menunjukkan mekanik pendukung yang meliputi tempat penampungan air, papan kursi, dan keran air yang disusun sedemikian rupa beserta rangkaian *sensor node* dan *gateway* agar menjadi satu sistem keseluruhan.



Gambar 12 Tampak sistem keseluruhan

4 HASIL PENGUJIAN

4.1 Pengujian Fungsionalitas Alat

Data hasil pengujian fungsionalitas alat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian fungsionalitas alat

No	Pengujian	Target	Hasil
1	Inisialisasi mikrokontroler	Mikrokontroler dapat melakukan inisialisasi	Tercapai
2	Pembacaan tanggal dan waktu	Waktu dan tanggal pada modul RTC sesuai dengan waktu dan tanggal yang berlaku	Tercapai
3	Inisialisasi modul LoRa HC-12	Modul LoRa memberikan informasi modul melalui AT Command	Tercapai
4	Pembacaan sistem meter	Water flow sensor dapat menghitung volume air dan perhitungan biaya dan ditampilkan pada layar LCD	Tercapai
5	Tombol interupsi LCD	Tombol dapat berfungsi untuk mengganti menu tampilan layar LCD	Tercapai
6	Pengujian LED dan buzzer setelah melakukan komunikasi data	LED dan buzzer akan menyala setelah menerima balasan dari gateway	Tercapai

Tabel 3 merupakan hasil pembacaan sistem meter untuk mengetahui ketercapaian prototipe membaca dan menghitung volume air.

Tabel 3 Pengujian pembacaan volume air

Percobaan ke	Volume Air Sebenarnya (L)	Pembacaan Sensor (L)	Biaya terhitung (Rp)	Error (%)
1	1	1,01	11.010	1
2	2	2,00	12.000	0
3	3	2,99	12.990	0,67
4	5	5,01	15.012	0,2
5	10	10,00	19.999	0
6	15	15,07	28.109	0,47
7	20	20,00	36.006	0
8	25	25,02	47.546	0,08
9	30	30,08	59.440	0,27
10	36	36,04	92.210	0,11

4.2 Pengujian Pengiriman Data

Data hasil pengujian komunikasi data pada kondisi ruang terbuka dan ruang tertutup akan disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Khusus pada pengujian ruang terbuka, setiap titik jarak uji dilakukan percobaan pengiriman data sebanyak 5 kali, yaitu setiap 2 menit sekali selama 10 menit.

Tabel 4 Pengujian komunikasi data ruang terbuka

Jarak	Baud rate	Siang hari	Malam hari
10 m		100 %	100 %
20 m		100 %	100 %
30 m		100 %	100 %
40 m		100 %	60 %
50 m		100 %	20 %
60 m		80 %	0 %
70 m		80 %	0 %
80 m		60 %	0 %
90 m		60 %	0 %
100 m		20 %	0 %
Jarak	Baud rate	Siang hari	Malam hari
110 m		0 %	0 %
120 m		0 %	0 %
130 m		0 %	0 %
140 m		0 %	0 %
150 m		0 %	0 %

Tabel 5 Pengujian komunikasi data ruang tertutup

No	Jarak 7 m	Jarak 9 m
1	Terkirim	Terkirim
2	Terkirim	Terkirim
3	Terkirim	Terkirim
4	Terkirim	Terkirim
5	Terkirim	Terkirim
6	Terkirim	Terkirim
7	Terkirim	Terkirim
8	Terkirim	Terkirim
9	Terkirim	Terkirim
10	Terkirim	Terkirim

4.3 Pengujian Akses Halaman Web

Data hasil pengujian akses halaman web ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Pengujian akses halaman web

No	Pengujian	Target	Hasil
1	Akses login ke web server lokal warmsys	Dapat menampilkan halaman login dan berhasil melakukan login user	Tercapai
2	Masuk ke menu akun	Dapat mengubah isi data akun user	Tercapai
3	Masuk ke menu data pemakaian	Dapat menampilkan data pemakaian air dan perhitungan biaya	Tercapai
4	Masuk ke menu grafik	Dapat menampilkan grafik pemakaian air selama sebulan	Tercapai
5	Masuk ke menu laporan	Dapat menyimpan laporan penggunaan air ke dalam file format PDF dan Excel	Tercapai

5 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian parameter pertama, alat berhasil melakukan inialisasi mikokontroler, modul radio LoRa HC12, serta pembacaan waktu dan tanggal. Kemudian, pada modul radio LoRa HC-12 diatur pada kanal frekuensi 005 (435 MHz) dan baud rate 9600 bps. Tombol interupsi memiliki fungsi untuk

berganti informasi yang tampil pada layar LCD. Tampilan utama menampilkan tanggal dan waktu, kecepatan aliran air, dan volume air yang terbaca oleh sensor. Tampilan kedua menampilkan ID meteran dan ID pelanggan. ID meteran yang terdapat pada *sensor node* dijadikan sebagai identitas pengirim. Hal ini bertujuan agar suatu *gateway* dapat mengenal ID mana saja yang mengirimkan data ketika terpasang banyak *sensor node*. Tampilan ketiga menampilkan total volume yang terbaca dan total biaya pemakaian. LED dan *buzzer* akan menyala ketika *sensor node* menerima balasan dari *gateway* setelah data berhasil terkirim ke *gateway*.

Pada pengukuran volume air menghasilkan penyimpangan *error* dari 0 sampai dengan 1 %. Hal ini karena rumus perhitungan aliran air bukan menggunakan persamaan yang ada di *datasheet*, melainkan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{\text{pulsa frekuensi} / 1000}{2.37} \quad (1)$$

Dari persamaan tersebut maka diperoleh hasil pengujian seperti pada Tabel 3, sehingga penyimpangan *error* yang didapat dibawah 10 %.

Pada pengujian parameter kedua seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4, pengujian komunikasi pada ruang terbuka dengan kondisi siang hari memiliki tingkat keberhasilan pengiriman data lebih besar dibandingkan kondisi malam hari. Pada kondisi siang hari, jarak jangkauan yang dapat ditempuh untuk pengiriman data dengan situasi lokasi di kompleks perumahan bisa mencapai jarak 100 meter. Sedangkan pada kondisi malam hari, jarak jangkauan yang dapat ditempuh untuk pengiriman data dengan situasi lokasi yang sama hanya mencapai 30 meter saja. Hal ini disebabkan kondisi siang dan malam dapat memengaruhi proses transmisi data.

Kemudian, pengujian komunikasi pada ruang tertutup seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 memperlihatkan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 100 %. Hal ini dikarenakan jarak tempuh transmisi data masih dalam jarak jangkauan yang dekat, yaitu 7 sampai 9 meter. Selain itu, situasi lokasi di dalam rumah dan antara *sensor node* dengan *gateway* terdapat benda yang menghalangi jarak pandang seperti dinding tembok.

Pada pengujian parameter ketiga, pengaksesan halaman web berhasil dilakukan dengan hak akses *admin* dan *user*. Hak akses *user* berhasil melakukan login pada web. Kemudian dapat mengubah isi data akun *user*, seperti mengubah nama lengkap, alamat, dan *password*. Selain itu, data pemakaian dapat ditampilkan sesuai *user* yang login pada saat itu. *User* dapat melihat grafik pemakaian air, dan

menyimpan laporan data pemakaian dengan bentuk format *file* PDF dan/atau Excel.

Diluar proses pengujian, *sensor node* mengirimkan data secara periodik, yaitu setiap hari agar data tersimpan pada server *database* dan dapat menampilkan grafik selama satu bulan pemakaian. Modul radio LoRa HC-12 yang terpasang pada *sensor node* cocok digunakan untuk penerapan *smart water meter* di lingkungan sektor rumah tangga. Selain jarak jangkauan yang cukup jauh, modul ini juga berdaya rendah dengan daya maksimum 100 mW (20 dBm).

6 KESIMPULAN

Berdasarkan realisasi prototipe alat dan sistem serta pengujian yang dilakukan dari penelitian ini maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian pada prototipe *smart water meter*, pembacaan volume air menghasilkan penyimpangan *error* paling besar 1 % pada volume 1 Liter.
2. Sistem komunikasi data menggunakan modul radio LoRa HC-12 dapat melakukan pengiriman data di kondisi ruang terbuka pada daerah komplek perumahan dengan jarak jangkauan 100 meter pada siang hari, dan jarak jangkauan 50 meter pada malam hari, serta jarak jangkauan 9 meter untuk kondisi ruang tertutup.
3. Sistem informasi bagi pelanggan tercatat secara digital dan *realtime* menggunakan web server yang dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wixted, A. J., et al, Evaluation of LoRa and LoRaWAN for Wireless Sensor Network, 2016.
- [2] Wisduanto, Richad Gilang, et al, "Implementasi Sistem Akuisisi Data Sensor Pertanian Menggunakan Protokol Komunikasi LoRa," Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 3, no. 3, pp. 2201-2207, 2019.
- [3] Stefano Alvisi, et al, "Wireless Middleware Solutions for Smart Water Metering," sensors, vol. 19, pp. 1-25, 2019.
- [4] PT Mega Sarana Satelit, "IoT dan M2M untuk Efisiensi Operasional Perusahaan Ekspedisi," [Online]. Available: <http://www.mss.id/iot-dan-m2m/>. [Accessed 9 April 2020].
- [5] Aloÿs Augustin, Jiazi Yi, Thomas Clausen, William Mark Townsley, "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things," Sensors, vol. 16, no. 1466, pp. 1-18, 2016.
- [6] Wikipedia, "LoRa," [Online]. Available: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/LoRa>. [Accessed 9 April 2020].
- [7] M. Yunus, "#1 LoRa | Sistem Komunikasi Wireless Jarak Jauh dan Berdaya Rendah," Medium, 12 Juni 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/@yunusmuhammad007/1-lora-sistem-komunikasi-wireless-jarak-jauh-dan-berdaya-rendah-70dfc4d3c97d>. [Accessed 9 April 2020].
- [8] Nicholas Ducrot, Dominique Ray, Ahmed Saadani, "LoRa Developer Guide," Orange, 2016.
- [9] Junaidi, Yuliyani Dwi Prabowo, Project Sistem Kendali Elektronik Berbasis Arduino, Lampung: CV. Anugrah Utama Raharja, 2018.
- [10] Y. Oktareza, "Prototype Portal Kereta Api Otomatis Menggunakan RFID," Laporan Tugas Akhir tidak diterbitkan, Palembang, 2014.
- [11] I Made Nova Suardiana, IGAP Raka Agung, Pratolo Rahardjo, "Rancang Bangun Sistem Pembacaan Jumlah Konsumsi Air Pelanggan PDAM Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328 Dilengkapi SMS," Dilengkapi SMS, vol. 16, no. 1, pp. 31-40, 2017.
- [12] "YF-S201 Datasheet," [Online]. Available: <https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>. [Accessed 9 April 2020].
- [13] J. M. Gorce dan C. Goursaud, Dedicated Networks for IoT: PHY/MAC state of the art and challenges, 2015.
- [14] Richad Gilang Wisduanto, Adhitya Bhawiyuga, Dany Pramanita Kartikasari, "Implementasi Sistem Akuisisi Data Sensor Pertanian Menggunakan Protokol Komunikasi LoRa," Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 3, no. 3, pp. 2201-2207, 2019.