

Rancang Bangun Instalasi Uji Akurasi Meter Air untuk Studi Pengaruh Tekanan Air

DUDI ADI FIRMANSYAH¹, SAYYID AL HABBIB AHMAD², ENDANG PRIYATNA³, VERA FIRMANSYAH⁴, SUPRIJANTO⁵

^{1,2,3,4}D3 Metrologi dan Instrumentasi, Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Indonesia

⁵Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Email: dudiadif@akmet.ac.id

Received 4 Januari 2022 | Revised 31 Januari 2022 | Accepted 8 Februari 2022

ABSTRAK

Pada distribusi air bersih kepada konsumen, tekanan permulaan biasanya dibuat lebih tinggi dan sering berubah pada saat aliran. Kondisi ini dapat mempengaruhi akurasi meter air, meskipun alat ini didesain untuk dapat beroperasi pada rentang tekanan lebar. Oleh karenanya, pada penelitian ini, prototipe instalasi uji dibuat untuk mempelajari pengaruh tekanan air pada akurasi meter air secara bersamaan. Prototipe ini terdiri dari dua pompa yang mampu menghasilkan tekanan air tinggi, sensor tekanan posisi hulu dan hilir, pengatur aliran, sensor aliran, meter air, sensor suhu, dan sebuah sistem akuisisi data nirkabel dengan perhitungan otomatis. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa semua sensor memiliki rata-rata akurasi 99,4% dan presisi 99,7%. Hasil pengujian akurasi meter air pada kenaikan tekanan dari 0,5 bar ke 4,5 bar menunjukkan nilai kesalahan meter air yang semakin meningkat dari 5,1% menjadi 7,2%, sehingga pada studi ini dapat dilakukan pengujian akurasi meter air pada tekanan air yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Kata kunci: tekanan, akurasi, instalasi uji, perhitungan otomatis

ABSTRACT

In the water distribution, the starting pressure is usually made higher and frequently changes during the flow. This condition can affect the accuracy of water meter, though it was designed to be operated at a wider pressure range. Therefore, a prototype of testing installation is assembled to study the effect of the water pressure to the water meter accuracy simultaneously. It consists of two pumps which able to generate high water pressure, pressure sensor (upstream and downstream), flow regulator, flowmeter sensor, water meter, temperature sensor, and wireless data acquisition system with automatic calculation. Calibration results show that all sensors have average accuracy of 99.4% and precision of 99.7%. Water meter accuracy testing results at the increasing pressure from 0,5 bar to 4,5 bar show that water meter error values increase from 5,1% to 7,2%, so this study can perform accuracy test at a higher water pressure as compared to the previous research.

Keywords: pressure, accuracy, testing installation, automatic calculation

1. PENDAHULUAN

Penyediaan air dewasa ini sangat penting bagi hajat hidup orang banyak karena digunakan untuk berbagai kebutuhan mulai dari kebutuhan primer seperti minum, masak, mandi dan mencuci hingga untuk kebutuhan sekunder dan tersier seperti rekreasi, transportasi hingga pembangkit energi listrik **(Natalia, dkk, 2014)(Rahmawati, dkk, 2020)**. Dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk, hal ini menyebabkan kebutuhan air pun semakin meningkat, yang diiringi dengan berkurangnya daerah serapan air untuk sumber air di sumur dan mata air **(Jaya, dkk, 2020)(Kautsar, dkk, 2015)**. Oleh karenanya, untuk memenuhi kebutuhan air tersebut, air bersih harus diproses dari air permukaan seperti dari sungai atau danau agar dapat memenuhi standar kualitas air minum **(Kautsar, dkk, 2015)(Kusumawardani & Astuti, 2018)**. Setelah diolah, air tersebut didistribusikan ke pelanggan dengan kualitas, volume dan tekanan yang memenuhi **(Kusumawardani & Astuti, 2018)(Putri, 2017)(Riduan, dkk, 2017)**. Selanjutnya, pelanggan diwajibkan untuk membayar retribusi air sesuai dengan volume air yang digunakan hasil pengukuran dari alat ukur yang dikenal sebagai meter air **(Dirjen Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2015)(Nababan, 2013)(Natalia, dkk, 2014)**. Oleh karenanya, meter air kemudian digolongkan menjadi alat Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya (UTTP) yang wajib ditera dan ditera ulang sesuai dengan amanat Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1981 tentang Metrologi Legal untuk menjamin kebenaran pengukuran.

Proses distribusi air dapat dilakukan dengan beberapa cara tergantung pada kondisi topografi dari sumber air dan pelanggan **(Agustina, 2007)(Kusumawardani & Astuti, 2018)**. Distribusi dengan gaya gravitasi dilakukan jika perbedaan elevasi cukup besar, sedangkan distribusi dengan pemompaan atau kombinasi pemompaan dan gaya gravitasi dilakukan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan tekanan yang diperlukan pada kondisi pemakaian tinggi. Berdasarkan hal tersebut, tekanan memegang peranan yang sangat penting agar distribusi air dapat mencapai seluruh daerah pelayanan **(Agustina, 2007)**. Meskipun demikian, selama proses penyaluran, tekanan tersebut biasanya berkurang akibat gesekan antara zat cair dan dinding pipa yang bergantung pada kecepatan aliran, jenis pipa, diameter pipa dan jalur pipa tersebut **(Kusumawardani & Astuti, 2018)(Riduan, dkk, 2017)**. Oleh karenanya, tekanan yang dibutuhkan pada titik awal distribusi dibuat menjadi lebih tinggi dan dapat mencapai tekanan 10 bar **(Alatas, 2012)**. Agar semua pelanggan mendapatkan air yang cukup dan untuk mengatasi kehilangan tekanan distribusi, sisa tekanan minimum 1 bar berlaku pada pipa sekunder atau tersier **(Riduan, dkk, 2017)** dan dapat juga melebihi tekanan minimum tersebut misalnya 2-3,8 bar untuk daerah perumahan dan 5,2-6,2 bar untuk jalur bisnis **(Kusumawardani & Astuti, 2018)**. Meskipun demikian, dikarenakan kurangnya pasokan air pada periode pemakaian puncak, posisi ketinggian relatif pelanggan terhadap sumber air, dan tingginya tingkat kebocoran, maka banyak pelanggan yang memiliki sisa tekanan yang kurang dari 1 bar **(Kusumawardani & Astuti, 2018)**. Oleh karenanya, dalam proses pendistribusian air, tekanan air yang didistribusikan sering kali mengalami perubahan. Adanya perubahan tekanan yang signifikan tersebut tentu saja dapat berpengaruh terhadap akurasi meter air **(Fontanazza, dkk, 2013)(Mutikanga, dkk, 2011)(Nazar & Soedjono, 2012)**.

Studi pengaruh tekanan pada akurasi meter air telah dilakukan beberapa kali **(Criminisi, dkk, 2009)(Fontanazza, dkk, 2013)(Mutikanga, dkk, 2011)**. Pengujian akurasi meter air pada rentang tekanan 0,5 bar hingga 2,0 bar telah dilakukan, tetapi tidak ditemukan pengaruh yang signifikan pada kesalahan pengukuran dari meter air, kemudian pada tekanan yang sama ditemukan kenaikan kesalahan negatif pada meter air yang semakin tua **(Criminisi, dkk, 2009)**. Meskipun demikian, studi selanjutnya menunjukkan pengaruh tekanan ternyata mulai ada pada meter air **(Fontanazza, dkk, 2013)(Mutikanga, dkk, 2011)(Nazar &**

Soedjono, 2012). Peningkatan tekanan yang diukur dengan *pressure data loggers* pada aliran air dalam jaringan distribusi (yang terdiri dari meter air utama dan meter air cabang) dapat memperkecil kesalahan pengukuran (**Mutikanga, dkk, 2011**). Pada penelitian pengaruh tekanan jaringan PDAM di Surabaya terhadap akurasi meter air pelanggan ditemukan bahwa peningkatan tekanan aliran dapat mengurangi kesalahan negatif pada berbagai debit pengujian (**Nazar & Soedjono, 2012**). Meskipun demikian, penelitian ini menggunakan peralatan pengujian akurasi dan pengukuran tekanan yang berbeda, sehingga pengukurannya tidak dilakukan bersamaan.

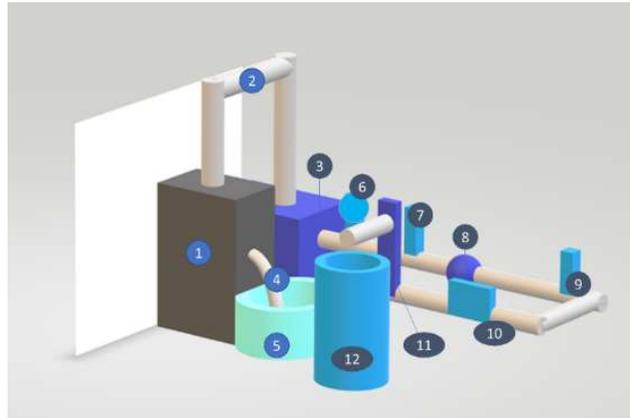
Pengaruh laju aliran pada akurasi meter air juga telah dipelajari, tetapi hanya terbatas pada aliran kecil (**Fontanazza, dkk, 2013**). Laju aliran yang diteliti yaitu pada laju aliran saat meter air bergerak dengan aliran air tapi belum melakukan pengukuran. Laju ini dikenal sebagai laju permulaan. Hasil penelitiannya menunjukkan peningkatan tekanan dapat memperkecil laju permulaan meter air sekaligus mengurangi persentase kehilangan air diderita oleh PDAM akibat adanya aliran air yang tidak terukur (**Fontanazza, dkk, 2013**). Sedangkan studi akurasi meter air pada laju tinggi belum pernah dilakukan (**Fontanazza, dkk, 2013**). Di sisi lain, pengujian akurasi meter air harus dilakukan pada berbagai laju alir yang diprasyaratkan secara metrologi yaitu laju alir minimum (Q1), laju alir transisi (Q2), laju alir permanen (Q3) (**Dirjen Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2015**).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirancang sebuah prototipe instalasi uji yang dapat menguji akurasi meter air dan pengaruh tekanan pada berbagai laju alir. Metode pengujian akurasinya adalah metode volumetrik yang menggunakan Bejana Ukur Standar (BUS) terkalibrasi sebagai standar (**Criminisi, dkk, 2009**)(**Dirjen Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2015**)(**Menteri Perdagangan, 2019**). Oleh karenanya, prototipe yang akan dibuat juga dilengkapi dengan kemampuan akuisisi kondisi pengujian dan dapat menghitung kesalahan pengukuran meter air secara otomatis dari selisih volume meter air dan volume standar. Selanjutnya, hasil pengujian tersebut dianalisa sesuai dengan ketentuan Syarat Teknis Meter Air (**Dirjen Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2015**) untuk mengetahui pengaruh kenaikan tekanan terhadap pemenuhan ketentuan batas kesalahan yang diijinkan dari meter air.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan dalam 3 (tiga) tahap yaitu pembuatan prototipe, kalibrasi prototipe, dan pengujian meter air. Tahap pertama adalah pembuatan prototipe yang terdiri dari pembuatan perangkat keras dan pembuatan perangkat lunak. Untuk pembuatan perangkat keras adalah berupa pembuatan prototipe instalasi uji meter air yang memungkinkan penentuan akurasi pengukuran meter air pada berbagai kondisi tekanan. Konfigurasi instalasi uji dikembangkan agar tetap dapat memenuhi Syarat Teknis Meter Air yang berlaku (**Dirjen Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2015**). Prototipe yang dibuat terdiri dari pompa air 1 (Shimizu 375 Watt) (1), pipa *discharge* (2), pompa air 2 (Shimizu 100 Watt) (3), pipa hisap (*suction*) (4), reservoir air (5), *pressure gauge* analog (6), sensor tekanan posisi *upstream* (7), meter air (8), sensor tekanan posisi *downstream* (9), *flowmeter* (10), rotameter dan *valve* (11), dan bejana ukur standar (BUS) 20 L (12). Susunan dari peralatan tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Prinsip kerja dari prototipe yaitu air bertekanan dialirkan dari reservoir melalui meter air menuju ke Bejana Ukur Standar. Model pengujian meter air dilakukan dengan perbandingan langsung antara pembacaan meter air dan pembacaan BUS. Tekanan air diatur dengan mengatur bukaan *valve* pada rotameter, dimana jika debit air diperkecil maka tekanan air sebelum melewati *valve* akan meningkat dikarenakan air tertahan.

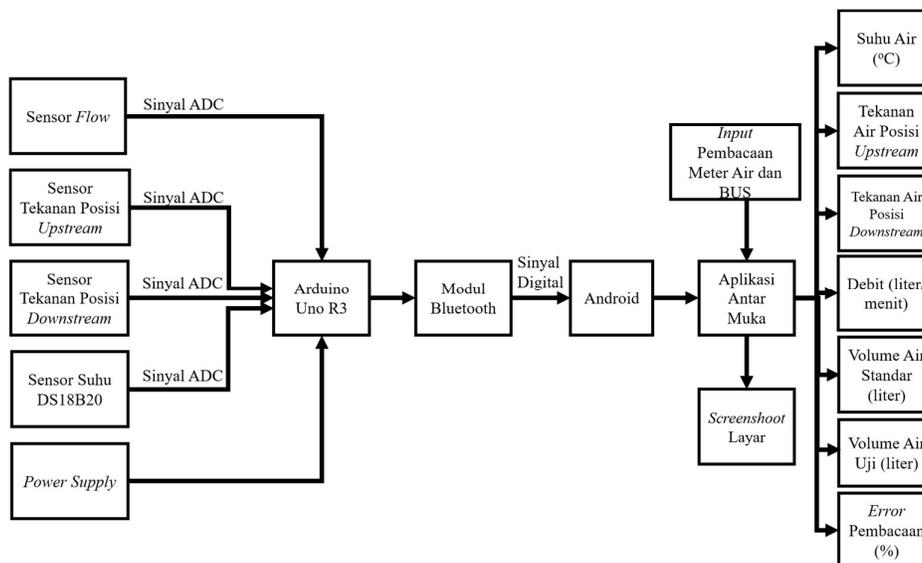
Debit air tetap dipantau agar berada pada rentang Q1, Q2, atau Q3, sehingga dapat tetap memenuhi persyaratan wilayah kerja meter air.



Gambar 1. Susunan Peralatan dari Prototipe Instalasi Uji Meter Air

Pembuatan perangkat lunak dilakukan melalui pembuatan program Arduino dan Aplikasi Android. Program pada Arduino lebih banyak berfokus pada bagaimana sinyal dari sensor-sensor dapat diolah menjadi nilai yang dapat dipahami. Sedangkan pada aplikasi Android berfungsi untuk menampilkan dan mengolah nilai-nilai yang dikirim oleh Arduino. Berdasarkan diagram pada Gambar 2, sensor-sensor yang terdapat pada prototipe terdiri dari sensor tekanan *upstream* (*Pressure Sensor 5V G1/4 1.2 MPa*), sensor tekanan *downstream* (*Pressure Sensor 5V G1/4 1.2 MPa*), sensor aliran (*water flow sensor 1/2 inch, 1-30 L/menit*), dan sensor suhu DS18B20. Terhadap sensor-sensor tersebut, proses yang terjadi pada program Arduino terdiri dari (1) permulaan variabel dan konstanta, (2) pembacaan sinyal sensor baik sinyal analog maupun sinyal digital, (3) pembuatan faktor kalibrasi atau proses pembuatan rumusan model matematika untuk mengkonversi sinyal dari sensor menjadi nilai pengukuran yang dapat dipahami, dan (4) pengiriman variabel akhir ke Android melalui *Bluetooth*. Proses (1) hingga Proses (3) berlangsung di mikrokontroler, sedangkan Proses (4) dilakukan dengan Modul Bluetooth HC06 (Ordila, dkk, 2020).

Aplikasi Android dikembangkan dengan menggunakan platform *MIT App Inventor 2* yang banyak digunakan dalam aplikasi prototipe nirkabel berbasis Bluetooth (Adiono, dkk, 2019). Aplikasi ini memungkinkan sistem untuk menerima sinyal dari Arduino, menampilkan nilai pengukuran, dan pengolahan data pengukuran. Urutan proses pada aplikasi Android yang dirancang terdiri dari (1) Penerimaan dan pemisahan 4 (empat) data (aliran, tekanan *upstream*, tekanan *downstream*, dan suhu) yang dikirimkan Arduino melalui koneksi Bluetooth; (2) Penampilan data oleh Aplikasi Android dalam bentuk teks pada layar Android yang dapat disimpan dalam bentuk *screenshot*; (3) Pengolahan data oleh Aplikasi Android dari input suatu nilai data pada saat tombol "hitung" ditekan; dan (4) Perekapitulasian data dimana aplikasi diprogram agar dapat mengumpulkan data sensor tekanan dan hasil perhitungan dari tahap sebelumnya pada saat tombol "ambil" ditekan. Sebanyak 10 data pengujian pada kondisi tekanan air yang sama akan direkap pada layar aplikasi berbentuk tabel rekapitulasi pengujian (tahap 4). *Screenshot* dari 4 (empat) tahap tersebut disimpan sebelum dilakukan pengujian akurasi meter air pada tekanan tekanan air berikutnya. Nilai *error* pembacaan yang didapat selanjutnya diolah untuk diketahui nilai *error* rata-ratanya lalu beserta data tekanan, suhu, dan debit dianalisis sesuai dengan ketentuan di dalam Syarat Teknis Meter Air (Dirjen Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2015).



Gambar 2. Diagram Blok Prototipe Instalasi Uji Meter Air untuk Pengujian Pengaruh Tekanan

Tahap kedua adalah kalibrasi prototipe terhadap sensor tekanan, sensor suhu, dan sensor aliran yang terdapat di dalam prototipe. Kalibrasi sensor tekanan dilakukan dengan membandingkan secara langsung pembacaan standar (*pressure gauge analog*) dengan pembacaan sensor tekanan. Sensor tekanan terdapat 2 (dua) posisi yaitu pada bagian *upstream* (sebelum melewati meter air) dan bagian *downstream* (setelah melewati meter air). Kalibrasi dilakukan pada 12 titik uji pada rentang tekanan 0,69 bar hingga 5,00 bar berupa 3 (tiga) kali pengujian naik dan 3 (tiga) kali pengujian turun. Selanjutnya, kalibrasi sensor aliran dilakukan dengan membandingkan penunjukan sensor dan perhitungan debit air menggunakan Bejana Ukur Standar (BUS) dan *stopwatch*. Perhitungan debit dilakukan dengan mengalirkan air hingga volume sekitar 20 liter ke dalam BUS kemudian dilakukan pencatatan nilai volume dan selang waktu (dari penunjukan *stopwatch*). Debit air akan sama dengan hasil dari volume dibagi selang waktu. Kalibrasi dilakukan di 5 (lima) titik uji dengan 3 (tiga) kali pengulangan di setiap titik uji. Terakhir adalah kalibrasi sensor suhu DS18B20. Hal ini dilakukan dengan menggunakan media pengganti *dry block* berupa air di dalam wadah yang dikondisikan temperaturnya yaitu pada tiga titik uji yaitu 25 °C, 28 °C, dan 30 °C (Hidayatullah, dkk, 2018). Data hasil kalibrasi dari sensor tersebut kemudian diolah untuk dapat menghasilkan nilai akurasi dan presisi dari nilai bias dan nilai standar deviasi sesuai dengan Persamaan (1) sampai dengan (3) (Kurniasugianto, dkk, 2020).

$$Presisi = \left(1 - \frac{3\sigma}{x}\right) \times 100\% \tag{1}$$

$$Akurasi = \left(1 - \frac{Bias+3\sigma}{X_{Benar}}\right) \times 100\% \tag{2}$$

$$Error = \frac{[(X_{Ukur} - X_{Benar})]}{X_{Benar}} \times 100\% \tag{3}$$

Pada ketiga persamaan tersebut, x adalah nilai rata-rata, σ adalah standar deviasi, bias adalah $|X_{Benar} - X_{rata-rata}|$ dan X_{Benar} merupakan nilai yang didapat dari pengukuran standar. Pada semua kalibrasi tersebut, setiap standar dan uji diukur masing-masing sebanyak 3 (tiga) kali.

Tahap ketiga adalah pengujian pengaruh tekanan terhadap akurasi meter air yang dilakukan dengan menguji meter air pada beberapa variasi tekanan air konstan. Meter air yang diuji adalah Meter Air B&R Original SNI ½ inch (1,27 cm) dengan debit aliran nominal (Q3) sebesar 1,6 m³/jam atau 26,7 liter/menit, debit transisi (Q2) sebesar 8,53 liter/menit, dan debit minimum (Q1) sebesar 2,13 liter/menit, suhu operasional 30°C dan tekanan maksimum 16 bar. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode volumetri dan standar berupa BUS berkapasitas 20 liter, dimana nilai *error* (Persamaan 3) ditentukan dari selisih volume air dari pembacaan meter air terhadap pembacaan BUS. Pengujian dilakukan pada beberapa tekanan yaitu 0,5 bar; 1,0 bar; 2,0 bar; 3,0 bar; 4,0 bar dan 4,5 bar. Setiap titik tekanan dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali untuk meyakinkan hasil uji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

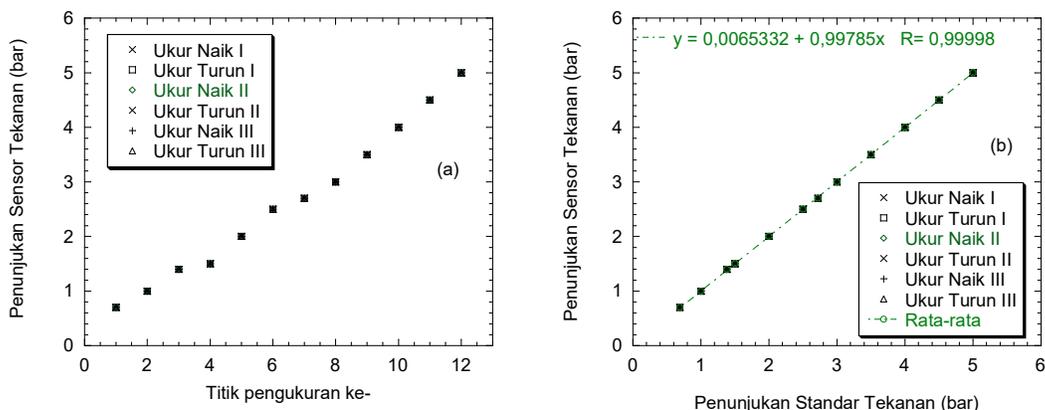
Hasil pembuatan prototipe instalasi uji meter air untuk pengujian pengaruh tekanan ditunjukkan pada Gambar 3. Susunan komponen dan keterangan komponen disesuaikan dengan perencanaan pada Gambar 1. Dengan prototipe tersebut, terdapat beberapa pengukuran yang dapat dilakukan yaitu pengukuran tekanan *upstream* meter air, pengukuran tekanan *downstream* meter air, pengukuran suhu air, dan pengukuran debit. Agar prototipe dapat dipergunakan untuk pengujian akurasi meter air, maka sensor-sensor yang terdapat di dalam prototipe harus dikalibrasi. Terdapat 3 (tiga) karakteristik penting terkait hasil kalibrasi suatu alat ukur yaitu presisi, akurasi, dan *error*. Presisi adalah suatu nilai yang menyatakan kedekatan hasil dari sistem pengukuran untuk masukan yang sama. Lalu, akurasi adalah suatu nilai yang menyatakan kedekatan antara nilai ukur dengan nilai alat standar. Kemudian, *error* adalah selisih keluaran pengukuran dengan nilai sebenarnya (nilai alat standar). Presisi, akurasi dan *error* berturut-turut dihitung dengan Persamaan (1) sampai dengan (3) seperti dijelaskan sebelumnya (Kurniasugianto, dkk, 2020).



Gambar 3. Hasil Pembuatan Prototipe Instalasi Uji Meter Air

Sensor tekanan yang dikalibrasi terdiri dari dua posisi yaitu pada posisi *upstream* dan posisi *downstream*. Data kalibrasi dan hasil pengolahan data kalibrasi sensor tekanan posisi *upstream* ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 1. Pada Gambar 4(a) ditunjukkan hasil kalibrasi pada 12 titik uji dari 3 (tiga) kali pengujian naik dan 3 (tiga) kali pengujian turun yang menunjukkan hasil yang sama atau berimpit pada grafik, sehingga dapat dinyatakan sensor tekanan *upstream* memiliki histerisis yang sangat baik (Sulistyo & Akbar, 2014). Pada Gambar 4(b), penunjukan rata-rata sensor tekanan menunjukkan hubungan yang linear dengan penunjukan tekanan alat standar karena memiliki nilai $R = 0,99998$ atau nilai $R^2 = 0,99996$

(Chen, dkk, 2018). Selanjutnya dengan Persamaan (1) dan Persamaan (2) (Kurniasugianto, dkk, 2020), presisi dan akurasi dari sensor tekanan *upstream* ditentukan dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1. Selanjutnya pada Tabel 1 ditunjukkan tingkat akurasi dan presisi dari pengukuran pada setiap titik uji sangat baik yaitu rata-rata dari akurasi sensor mencapai 99,7%, dan tingkat kepresisian sebesar 100%. Hal ini konsisten dengan hasil pada Gambar 4(b) yang menunjukkan kemiringan mendekati 1 (satu) untuk penunjukan alat ukur terhadap standarnya (Kurniasugianto, dkk, 2020).



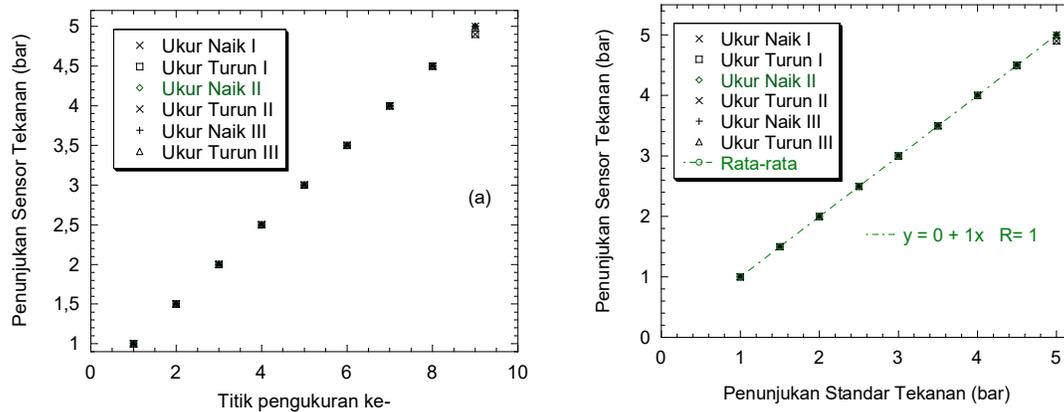
Gambar 4. Data Kalibrasi Sensor Tekanan Posisi *Upstream* pada Kondisi Pengukuran Naik dan Turun: (a) Terhadap 12 Titik Pengukuran; dan (b) Terhadap Penunjukan Standar

Tabel 1. Pengolahan Data Kalibrasi Sensor Tekanan Posisi *Upstream*

Standar (bar)	Sensor Tekanan Rata-rata (bar)	Error (%)	Standar Deviasi (bar)	Bias (bar)	Presisi (%)	Akurasi (%)
0,69	0,70	1,4	$1,22 \times 10^{-16}$	0,01	100,0	98,6
1,00	1,00	0	0	0	100,0	100,0
1,38	1,40	1,4	$2,43 \times 10^{-16}$	0,02	100,0	98,6
1,50	1,50	0	0	0	100,0	100,0
2,00	2,00	0	0	0	100,0	100,0
2,50	2,50	0	0	0	100,0	100,0
2,72	2,70	-0,7	$4,86 \times 10^{-16}$	0,02	100,0	99,3
3,00	3,00	0	0	0	100,0	100,0
3,50	3,50	0	0	0	100,0	100,0
4,00	4,00	0	0	0	100,0	100,0
4,50	4,50	0	0	0	100,0	100,0
5,00	5,00	0	0	0	100,0	100,0
Rata-rata		0,2	$7,09 \times 10^{-17}$	0,0042	100,0	99,7

Data kalibrasi dari sensor tekanan posisi *downstream* dan hasil pengolahan datanya ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 2. Berbeda dengan sensor tekanan posisi *upstream*, kalibrasinya dilakukan hanya dilakukan pada 9 titik pada rentang tekanan 1,0 bar hingga 5,0 bar dengan kenaikan 0,50 bar dimana pada setiap titik uji dilakukan dalam pengulangan 3 kali pengujian naik dan 3 kali pengujian turun dengan hasil yang berimpit seperti ditunjukkan pada Gambar 5(a), sehingga sensor tekanan *downstream* dapat dinyatakan memiliki histerisis yang baik (Sulistyo & Akbar, 2014). Selanjutnya, penunjukan rata-rata sensor tekanan *downstream* terhadap penunjukan standar tekanan pada Gambar 5(b) memiliki nilai $R = 1$ atau $R^2 = 1$, sehingga dapat dinyatakan sensor tekanan *downstream* memiliki hubungan yang

linear dengan penunjukan standar tekanan (**Chen, dkk, 2018**). Kemudian, dari pengolahan data menggunakan Persamaan (1) sampai dengan (3) (**Kurniasugianto, dkk, 2020**), seperti ditunjukkan pada Tabel 2, hasilnya menunjukkan sensor dapat berfungsi dengan baik dengan rata-rata dari akurasi sensor 99,6% dan kepresisian 99,7%.



Gambar 5. Data Kalibrasi Sensor Tekanan Posisi *Downstream* pada Kondisi Pengukuran Naik dan Turun: (a) Terhadap 9 Titik Pengukuran; dan (b) Terhadap Penunjukan Standar

Tabel 2. Pengolahan Data Kalibrasi Sensor Tekanan Posisi *Downstream*

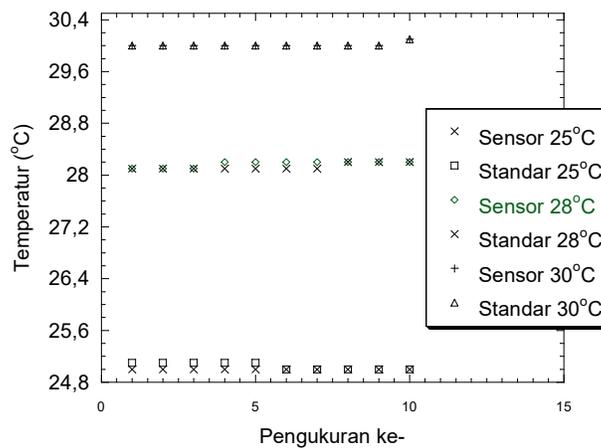
Standar (bar)	Sensor Tekanan Rata-rata (bar)	Error (%)	Standar Deviasi (bar)	Presisi (%)	Akurasi (%)
1,00	1,00	0	0	100,0	100,0
1,50	1,50	0	0	100,0	100,0
2,00	2,00	0	0	100,0	100,0
2,50	2,50	0	0	100,0	100,0
3,00	3,00	0	0	100,0	100,0
3,50	3,50	0	0	100,0	100,0
4,00	4,00	0	0	100,0	100,0
4,50	4,50	0	0	100,0	100,0
5,00	4,97	-0,67	0,051	96,9	96,2
Rata-rata		-0,1	0,0057	99,7	99,6

Tabel 3 menunjukkan data kalibrasi dari sensor aliran dan pengolahan datanya. Rentang debit yang diuji adalah antara 5,0 liter/menit hingga 25 liter/menit. Rentang tersebut dipilih agar mendekati debit pengujian meter air sesuai spesifikasi yaitu antara 2,13 liter/menit sebagai debit minimum (Q1) hingga debit nominal (Q3) sebesar 26,7 liter/menit. Hasil kalibrasi menunjukkan pembacaan uji dan pembacaan standar berdekatan dan konsisten yang didapat dari 3 (tiga) kali pengulangan. Oleh karenanya, dengan pengolahan data menggunakan Persamaan (1) sampai dengan (3) (**Kurniasugianto, dkk, 2020**), sensor aliran menunjukkan rata-rata dari akurasi 98,8% dan presisi 99,5% sehingga dapat dinyatakan akurasi dan presisinya sangat baik serta dapat digunakan sebagai pengukur debit aktual dari prototipe instalasi uji.

Tabel 3. Data Kalibrasi Sensor Aliran dan Pengolahannya

Pembacaan Uji (liter/menit)	Pembacaan Standar Rata-rata (liter/menit)	Standar Deviasi (liter/menit)	Bias (liter/menit)	Presisi (%)	Akurasi (%)
5,0	5,072	0,03383	0,07233	98,00	96,57
10,0	10,046	0,00954	0,04600	99,72	99,26
15,0	15,086	0,01401	0,08567	99,72	99,15
20,0	20,089	0,00709	0,08867	99,89	99,45
25,0	25,077	0,00416	0,07667	99,95	99,64
Rata-rata		0,01373	0,07387	99,46	98,82

Gambar 6 menunjukkan hasil kalibrasi dari sensor suhu DS18B20. Berdasarkan grafik pada Gambar 6, dari 10 (sepuluh) kali kalibrasi, pengukuran suhu dari sensor mendekati termometer standar dengan koreksi pada rentang $-0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koreksi didapatkan dari selisih pembacaan standar terhadap alat ukur uji (sensor DS18B20) (Tistomo, 2014). Selanjutnya, dari data pada Gambar 6 ditentukan akurasi dan presisinya dengan Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (3) (Kurniasugianto, dkk, 2020), kemudian hasilnya (Tabel 4) menunjukkan sensor DS18B20 memiliki rata-rata dari akurasi dan presisi sebesar 99,6% dan 99,7%. Oleh karenanya, sensor suhu tersebut layak digunakan sebagai alat ukur suhu air pada prototipe.



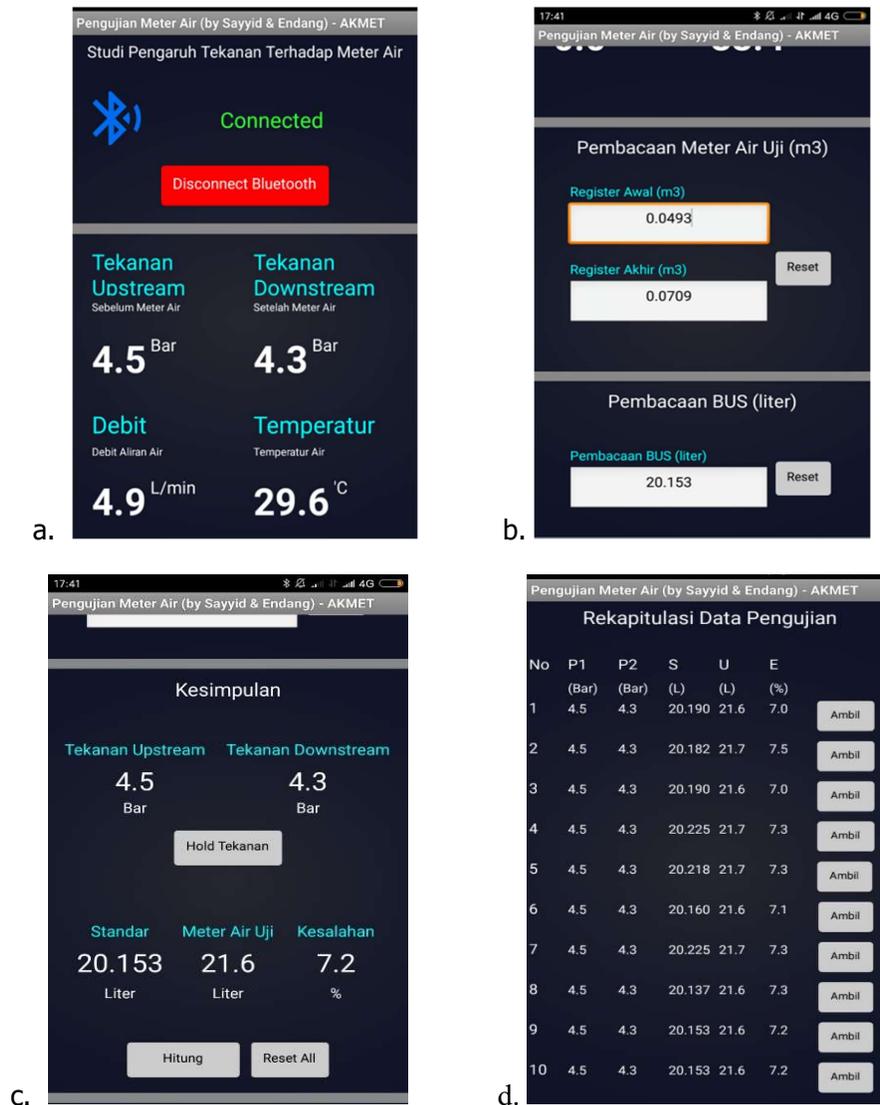
Gambar 6. Data Hasil Kalibrasi Sensor Suhu (DS18B20) pada Suhu 25°C, 28°C dan 30°C

Tabel 4. Hasil Pengolahan Data Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20

Rata-rata Suhu Standar (°C)	Rata-rata Suhu Sensor (°C)	Bias (°C)	Koreksi (°C)	Standar Deviasi (°C)	Presisi (%)	Akurasi (%)
25,05	25,00	0,05	0,05	0	100,0	99,8
28,13	28,17	0,04	-0,04	0,0483	99,5	99,3
30,01	30,01	0	0	0,0316	99,7	99,7
Rata-rata		0,03	0,003	0,0266	99,7	99,6

Berdasarkan hasil kalibrasi pada Tabel 1 hingga Tabel 4, semua sensor yang terdapat di dalam prototipe memiliki akurasi dan presisi yang baik. Selanjutnya, prototipe dapat digunakan untuk menguji akurasi meter air pada beberapa variasi tekanan air konstan. Dibandingkan dengan

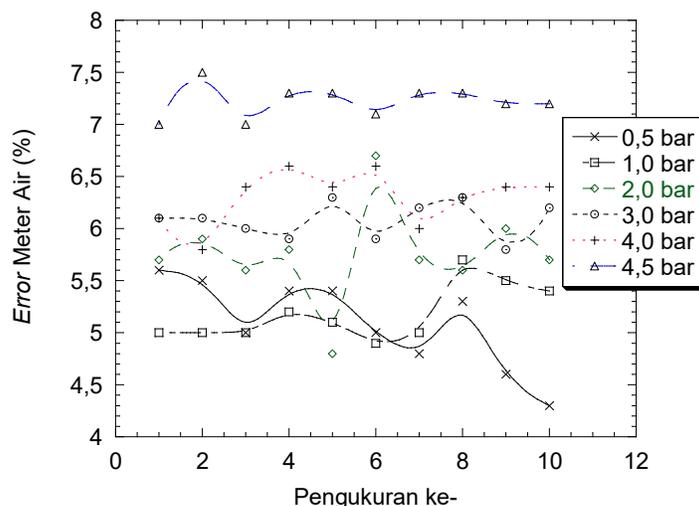
penelitian sebelumnya (**Fontanazza, 2013**), pengambilan data dan penentuan kesalahan pengukuran meter air pada penelitian ini dilakukan secara nirkabel dan otomatis. Prosesnya dimulai dari tampilnya 4 (empat) data yaitu tekanan *upstream*, tekanan *downstream*, aliran dan suhu (Gambar 7a). Selanjutnya, pembacaan meter air (awal dan akhir) dan pembacaan BUS dimasukkan ke dalam aplikasi (Gambar 7b). Dari hasil pengujian, volume meter air uji dihitung dari selisih pembacaan meter air akhir dengan pembacaan awal atau $(0,0709 \text{ m}^3 - 0,0493 \text{ m}^3 = 0,0216 \text{ m}^3)$ atau 21,6 liter; lalu volume standar diinput sebesar 20,153 liter, maka nilai *error* yang diperoleh adalah sebesar 7,2% sesuai dengan Persamaan (3) (**Kurniasugianto, dkk, 2020**). Hasil validasi perhitungan tersebut konsisten dengan tampilan pada Gambar 7c. Terakhir, hasil perhitungan tersebut tampil pada Tabel Rekapitulasi Pengujian (nomor 9) pada saat tombol "ambil" ditekan (Gambar 7d).



Gambar 7. Tampilan Antar Muka pada Layar Smartphone: (a) Data Pengukuran; (b) Input Pembacaan Meter Air dan BUS; (c) Kesimpulan; dan (d) Rekapitulasi Data Pengujian.

Hasil pengujian akurasi meter air dengan variasi tekanan konstan ditunjukkan pada Gambar 8. Pada tekanan 0,5 bar, nilai *error* berkisar antara 4,3% hingga 5,6%. Kemudian, pada tekanan

1 bar, nilai *error* berkisar antara 4,9% hingga 5,7%. Selanjutnya, pada tekanan 2,0 bar, rentang nilai *error* yaitu antara 4,8% hingga 6,7%. Kemudian, pada tekanan 3,0 bar, rentang nilai *error* meter air menjadi 5,8% hingga 6,3%. Selanjutnya, pada tekanan 4,0 bar, rentang nilai *error* meter air berubah menjadi 5,8% hingga 6,6%. Terakhir, pada tekanan 4,5 bar, rentang nilai *error* berubah menjadi 7,0% menjadi 7,3%. Salah satu contoh hasil pengujian meter air ditunjukkan pada Tabel 5. Pada tabel tersebut, terdapat 4 jenis data yang dicatat yaitu tekanan *upstream*, tekanan *downstream*, penunjukan BUS (standar) dan penunjukan meter air untuk memudahkan perhitungan *error* meter air sesuai dengan Persamaan (3) (Kurniasugianto, dkk, 2020). Hasil perhitungan *error* pada Tabel 5 konsisten dengan nilai *error* pada Gambar 8, dimana nilai *error* meter air bervariasi antara 7,0% hingga 7,5%.



Gambar 8. Hasil Uji Akurasi Meter Air pada Berbagai Tekanan Air

Tabel 5. Hasil Uji Meter Air pada Tekanan 4,5 bar ($Q=4,9$ l/menit, $T=29,6$ °C)

No.	Tekanan <i>Upstream</i> (Bar)	Tekanan <i>Downstream</i> (Bar)	Penunjukan BUS (liter)	Penunjukan Meter Air (liter)	<i>Error</i> (%)
1	4,5	4,3	20,190	21,6	7,0
2	4,5	4,3	20,182	21,7	7,5
3	4,5	4,3	20,190	21,6	7,0
4	4,5	4,3	20,225	21,7	7,3
5	4,5	4,3	20,218	21,7	7,3
6	4,5	4,3	20,160	21,6	7,1
7	4,5	4,3	20,225	21,7	7,3
8	4,5	4,3	20,137	21,6	7,3
9	4,5	4,3	20,153	21,6	7,2
10	4,5	4,3	20,153	21,6	7,2
Rata-rata					7,2

Tabel 5 juga menunjukkan volume pengujian yang ditampung dari keluaran meter air pada bejana ukur standar (BUS) adalah 20 liter. Volume pengujian tersebut ditentukan dari perkalian antara debit dengan waktu uji, dimana waktu uji yang dipersyaratkan adalah lebih besar atau sama dengan 1 menit (Sirenden & Prakosa, 2012). Dikarenakan debitnya hanya mencapai 4,9 liter/menit, maka volume uji yang diperlukan untuk waktu uji 1 menit adalah 4,9 liter

sehingga volume BUS sebanyak 20 liter mencukupi untuk volume uji tersebut. Selain itu, seperti ditunjukkan pada Tabel 6, kenaikan tekanan air dari 0,5 bar hingga 4,5 bar menghasilkan variasi debit pada rentang 4,9 liter/menit hingga 12,1 liter per menit, maka pada semua kondisi kenaikan tekanan tersebut, volume uji yang diperlukan adalah pada rentang 4,9 liter hingga 12,1 liter, sehingga volume BUS sebanyak 20 liter mencukupi untuk semua debit yang dihasilkan pada kondisi kenaikan tekanan yang diuji.

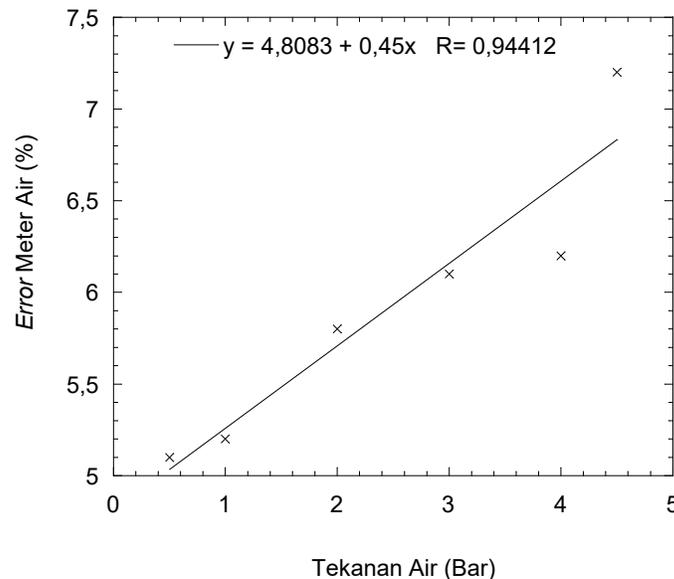
Agar dapat mengidentifikasi pengaruh tekanan terhadap akurasi meter air, semua nilai *error* dari setiap tekanan uji pada Gambar 8 dihitung nilai rata-ratanya dan hasilnya dirangkum pada Tabel 6. Dari tabel ini teramati kecenderungan kenaikan kesalahan rata-rata meter air dari 5,2% menjadi 7,2% pada saat tekanan *upstream* dinaikan dari 0,5 bar hingga 4,5 bar. Pengujian pada tekanan lebih besar dari 4,5 bar tidak dapat dilakukan karena debit air kurang dari debit minimum (Q_1) meter air yang diuji. Selain itu, debit uji pada rentang tekanan tersebut mengalami perubahan pada rentang 4,9 liter/menit hingga 12,1 liter/menit. Berdasarkan spesifikasi meter uji, rentang debit uji tersebut masih berada di antara debit minimum (Q_1) sebesar 2,13 liter/menit hingga debit aliran nominal (Q_3) sebesar 26,7 liter/menit. Suhu uji teramati di antara 24,6°C hingga 29,6°C dan sesuai dengan Syarat Teknis Meter Air (**Dirjen Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2015**), untuk daerah laju alir tinggi ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$), rentang suhu 0,1°C hingga 30°C memiliki batas kesalahan maksimum sebesar $\pm 2\%$ dan $\pm 3\%$ untuk suhu lebih besar dari 30°C. Dari syarat teknis tersebut, nilai Q_4 dapat ditentukan yaitu sebesar 1,25 Q_3 atau sebesar 33,375 liter/menit. Sedangkan untuk laju alir rendah ($Q_1 \leq Q \leq Q_2$) memiliki batas kesalahan maksimum sebesar $\pm 5\%$. Dengan demikian, nilai rata-rata *error* meter air uji sudah melebihi batas kesalahan maksimum baik pada laju alir rendah maupun pada laju alir tinggi (**Dirjen Standardisasi dan Perlindungan Konsumen, 2015**) pada kondisi kenaikan tekanan yang diuji.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Uji Meter Air pada Tekanan 0,5-4,5 Bar

No.	Tekanan <i>Upstream</i> (Bar)	Debit (l/menit)	Suhu Uji (°C)	Rata-rata <i>Error</i> (%)
1	0,5	4,9	24,6	5,1
2	1,0	6,5	27,6	5,2
3	2,0	12,1	28,1	5,8
4	3,0	11,6	29,1	6,1
5	4,0	10,9	25,2	6,2
6	4,5	4,9	29,6	7,2

Untuk lebih memperjelas kecenderungan tersebut, data tekanan *upstream* dan rata-rata *error* meter air dibuatkan grafik. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 9. Kecenderungan kenaikan *error* teramati pada saat tekanan air dinaikan. Berdasarkan persamaan garis linearnya yang menghasilkan nilai $R = 0,94$ atau nilai $R^2 = 0,89$; maka kecenderungan kenaikan *error* tersebut mendekati linear terhadap kenaikan tekanan air (**Chen, dkk, 2018**). Selain itu, pada tekanan di bawah 2 bar, kesalahan rata-rata pengukuran naik sedikit dan hampir konstan yang konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan tidak ada pengaruh signifikan terhadap kesalahan pengukuran meter air untuk tekanan air di bawah 2 bar (**Criminisi, dkk, 2009**)(**Fontanazza, dkk, 2013**). Dengan rentang tekanan air yang lebih tinggi (yaitu 0,5 bar hingga 4,5 bar) dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (**Criminisi, dkk, 2009**)(**Fontanazza, dkk, 2013**), kenaikan kesalahan pengukuran meter air teramati signifikan dari 5,1% menjadi 7,2%. Hal ini juga konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan semakin mengecilnya kesalahan negatif atau semakin meningkatnya kesalahan positif pada saat tekanan air dinaikkan untuk meter air yang relatif baru, meskipun

pengujiannya sebelumnya dilakukan dengan metode master meter (meter referensi) dan alat pengukur tekanan secara terpisah (**Nazar & Soedjono, 2012**).



Gambar 9. Tingkat Kesalahan Pengukuran Meter Air pada Berbagai Tekanan Air

4. KESIMPULAN

Prototipe instalasi uji meter air untuk pengujian pengaruh tekanan telah selesai dibuat. Prototipe ini memiliki kemampuan untuk mengukur berbagai kondisi pengujian dan dapat menghitung kesalahan meter air secara otomatis. Prototipe telah dikalibrasi dengan hasil diantaranya: sensor tekanan untuk posisi *upstream* dengan akurasi 99,7%, dan presisi 100%; sensor tekanan untuk posisi *downstream* dengan akurasi 99,6% dan presisi 99,7%; sensor aliran dengan akurasi 98,8% dan presisi 99,5% serta; sensor suhu dengan akurasi 99,6% dan presisi 99,7%. Hasil tersebut menunjukkan kinerja sensor yang sangat baik dengan nilai akurasi dan presisi yang tinggi. Hasil pengujian akurasi meter air untuk masing-masing titik uji tekanan 0,5 bar; 1,0 bar; 2,0 bar; 3,0 bar; 4,0 bar dan; 4,5 bar yaitu rata-rata kesalahan meter air berturut-turut sebesar 5,1%; 5,2%; 5,8%; 6,1%; 6,3% dan; 7,2%. Hasil analisis dengan Syarat Teknis Meter Air pada laju alir yang dihasilkan menunjukkan kesalahan meter air meningkat melebihi batas kesalahan yang diijinkan pada kondisi kenaikan tekanan yang diuji. Dengan demikian, hasil penelitian ini secara keseluruhan dapat memperkuat studi sebelumnya dengan rentang tekanan yang lebih tinggi, pengukuran akurasi meter air dan tekanan air secara bersamaan, dan dilakukan pada rentang debit air yang dipersyaratkan di dalam spesifikasi meter air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Akademi Metrologi dan Instrumentasi Kementerian Perdagangan Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui DIPA Akmet Tahun 2021.

DAFTAR RUJUKAN

- Adiono, T., Anindya, S. F., Fuada, S., Afifah, K., & Purwanda, I. G. (2019). Efficient Android Software Development Using MIT App Inventor 2 for Bluetooth-Based Smart Home. *Wireless Personal Communications, 105*(1), 233–256.
- Agustina, D. V. (2007). *Analisa Kinerja Sistem Distribusi Air Bersih PDAM Kecamatan Banyumanik di Perumnas Banyumanik (Studi Kasus Perumnas Banyumanik Kel . Srandol Wetan)*. UNIVERSITAS DIPONEGORO: TESIS, MAGISTER TEKNIK SIPIL.
- Alatas, M. (2012). Analisis IPA PDAM Unit Bukit Pariaman KUKAR. *E-Journal Teknik Sipil, 1*(1), 83–99.
- Chen, M., Zhao, Y., Xia, F., Peng, Y., & Tong, R. (2018). High sensitivity temperature sensor based on fiber air-microbubble Fabry-Perot interferometer with PDMS-filled hollow-core fiber. *Sensors and Actuators, A: Physical, 275*, 60–66.
- Criminisi, A., Fontanazza, C. M., Freni, G., & La Loggia, G. (2009). Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply. *Water Science and Technology, 60*(9), 2373–2382.
- Direktur Jenderal Standardisasi dan Perlindungan Konsumen. (2015). *Keputusan Direktur Jenderal Standardisasi dan Perlindungan Konsumen Nomor 133/SPK/KEP/10/2015, Syarat Teknis Meter Air*.
- Fontanazza, C. M., Notaro, V., Puleo, V., & Freni, G. (2013). Effects of network pressure on water meter under-registration: an experimental analysis. *Drinking Water Engineering and Science Discussions, 6*(1), 119–149.
- Hidayatullah, M., Fat, J., & Andriani, T. (2018). Prototype Sistem Telemetri Pemantauan Kualitas Air Pada Kolam Ikan Air Tawar Berbasis Mikrokontroler. *Positron, 8*(2), 43–52.
- Jaya, H., Winata, H., & Mariami, I. (2020). Sistem Pendukung Keputusan Kelayakan Pembuatan Jaringan Baru Instalasi Pipa Air Untuk Distribusi Masyarakat Pada PDAM Tirtanadi Menggunakan Metode Moora. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Sistem Komputer TGD (J-SISKO TECH), 3*(1), 19–31.
- Kautsar, M., Isnanto, R. R., & Widiyanto, E. D. (2015). Sistem Monitoring Digital Penggunaan dan Kualitas Kekeuhan Air PDAM Berbasis Mikrokontroler ATMega328 Menggunakan Sensor Aliran Air dan Sensor Fotodiode. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer, 3*(1), 79–86.
- Kurniasugianto, R., Iskandar, R. F., & Qurthobi, A. (2020). Rancang Bangun Alat Ukur Daya pada Smart Home. *E-Proceeding of Engineering, 7*(1), 1335–1341.
- Kusumawardani, Y., & Astuti, W. (2018). Evaluasi Pengelolaan Sistem Penyediaan Air Bersih

- Di Pdam Kota Madiun. *Neo Teknika*, 4(1), 1–10.
- Menteri Perdagangan. (2019). *Peraturan Menteri Perdagangan Nomor 52 Tahun 2019 Tentang Standar Ukuran Metrologi Legal*.
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011). Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda. *Water SA*, 37(4), 567–574.
- Nababan, D. (2013). Kajian Yuridis Terhadap Tera Meter Konsumen Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Ditinjau dari Perspektif Perlindungan Konsumen (Studi pada Konsumen Perusahaan Daerah Air Minum Kota Pontianak). *Jurnal Nestor Magister Hukum*, 2(4), 1–30.
- Natalia, B. M., Mardiyono, & Said, A. (2014). Implementasi Program Zona Air Minum Prima (ZAMP) Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Minum Masyarakat (Studi Pada PDAM Kota Malang). *Jurnal Administrasi Publik*, 2(1), 11–15.
- Nazar, L. T., & Soedjono, E. S. (2012). Studi Pengaruh Akurasi Meter Air terhadap Tingkat Kehilangan Air. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1), 1–3.
- Ordila, R., Irawan, Y., Yulanda, & Putra. (2020). Penerapan Alat Kendali Kipas Angin Menggunakan Microcontroller Arduino Mega 2560 dan Sensor DHT22 Berbasis Android (Studi Kasus: SMKS Pariwisata Ekatama Pekanbaru). *Riau Journal of Computer Science*, 06(02), 101–106.
- Putri, Y. E. (2017). Analisa Sistem Distribusi Air Bersih PDAM Tirta Ogan di IKK (Unit) Tanjung Baru. *Jurnal Deformasi*, 2(2), 48–58.
- Rahmawati, E., Trisnaningsih, & Sudarmi. (2020). Upaya Pemenuhan dan Pemanfaatan Air Bersih di Desa Rawa Ragil. *Jurnal Skripsi Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung*.
- Riduan, R., Firmansyah, M., & Fadhilah, S. (2017). Evaluasi Tekanan Jaringan Distribusi Zona Air Minum Prima (ZAMP) PDAM Intan Banjar Menggunakan EPANET 2.0. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(1), 12–20.
- Sirenden, B. H., & Prakosa, J. A. (2012). Pengujian Standar Volume Uji Pada SNI 2547:2008 Dan Pengaruh Volume Uji Dalam Pengujian Meter Air. *Jurnal Standardisasi*, 14(3), 198–205.
- Sulistyo, H., & Akbar, F. F. (2014). Prototipe Automatic Tank Gauging Optik untuk Pengukuran Level Fluida Statik. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 6(2), 121.
- Tistomo, A. S. (2014). Studi Metode Kalibrasi Higrometer Elektrik, Study on Electrical Hygrometer Calibration Method. *Jurnal Standardisasi*, 16(3), 199–204.