SMART MONITORING PADA *ORIFICE FLOW METER* MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

Amirah Nurwahyu Noviasari [1*], Mochamad Rizky Pradana[1], Suka Handaja Budi[1]
[1]Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No.37, Blora, 55312
E-mail: *Mochamad.Pradana@esdm.go.id*

ABSTRAK

Pengukuran *flow* sangat penting dalam industri minyak dan gas (migas) untuk memastikan kelancaran produksi dan proses. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengukur *flow rate* adalah orifice flow meter yang bekerja berdasarkan perbedaan tekanan. Penggunaan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) semakin meningkatkan akurasi dan kemudahan dalam *monitoring flow rate*. Penelitian ini mengembangkan sistem *smart monitoring flow rate* menggunakan orifice flow meter yang dikombinasikan dengan mikrokontroler ESP32. Sistem ini dirancang untuk memantau *flow rate* fluida secara *real time* dan mengirimkan data ke platform berbasis web. *User*an sensor tekanan pada bagian *upstream* dan *downstream* memungkinkan perhitungan *diferential pressure* yang diperlukan untuk menentukan *flow rate* dan Bilangan Reynolds. Data hasil pengukuran diolah oleh mikrokontroler dan dikirim ke server untuk dianalisis serta ditampilkan melalui *web interface* guna mengindikasi kondisi aliran fluida yang kemudian dianalisis untuk mengevaluasi fungsi kerja *orifice flow meter*. Berdasarkan pengujian, diperoleh batas atas *flow rate* sebesar 0,2995 kg/s dan batas bawah sebesar 0,1283 kg/s, yang didapat dari variasi bukaan *valve* sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%. Nilai bilangan Reynolds juga diuji pada keempat variasi bukaan tersebut untuk menganalisis jenis *flow* fluida yang terjadi.

Kata kunci: *Flow Rate, Orifice Flow Meter*, ISO 5167, Reynold Number

1. PENDAHULUAN

Flow rate (*flow rate*) merupakan salah satu parameter utama yang harus di-*monitoring* dalam proses industri minyak dan gas (migas) untuk memastikan keberlangsungan proses. Pengukuran *flow rate* menjadi krusial dalam berbagai tahapan produksi, mulai dari eksplorasi hingga distribusi, untuk mengontrol volume fluida yang bergerak dalam suatu sistem. Ketidaktepatan dalam *monitoring flow rate* dapat berdampak signifikan terhadap keseimbangan material, serta potensi kehilangan produk yang dapat merugikan industri.

Salah satu metode yang banyak diterapkan dalam pengukuran *flow rate* adalah orifice flow meter. Instrumen ini bekerja berdasarkan prinsip *differential pressure* yang terjadi akibat penyempitan aliran pada pipa. Untuk memastikan ketepatan sistem pengukuran, metode ini mengikuti standar ISO 5167 yang mengatur tentang perhitungan dan pemasangan alat ukur berbasis *differential pressure*, termasuk orifice *plate, nozzle, dan strainers* [1]. Standar ini memberikan pedoman teknis agar sistem pengukuran *flow rate* dapat beroperasi sesuai dengan praktik industri.

Meskipun metode orifice flow meter telah banyak digunakan dalam industri migas, *monitoring* secara manual masih memiliki keterbatasan ketersediaan data secara *real time*. Untuk mengatasi tantangan ini, perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan solusi dalam sistem *monitoring* industri[2]. Dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang memiliki kapabilitas pemrosesan data secara cepat serta konektivitas nirkabel, sistem ini memungkinkan *monitoring flow rate* secara otomatis dan terintegrasi dengan server. Hal ini

memungkinkan data dapat diakses kapan saja dan dari berbagai lokasi, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih responsif dan berbasis data [3].

Dalam sistem monitoring flow rate konvensional, seringkali ditemui kendala seperti keterlambatan pembacaan data atau kurangnya akurasi saat terjadi perubahan kondisi fluida. Hal ini bisa berdampak pada efisiensi proses maupun potensi kerugian material dalam operasional industri. Untuk itu, dibutuhkan sistem yang mampu membaca dan mengolah data secara tepat. Di sinilah peran mikrokontroler seperti ESP32 menjadi penting tidak hanya dapat membaca sinyal dari sensor, tetapi juga memproses data dan mengirimkannya ke sistem monitoring secara langsung melalui koneksi Wi-Fi, tanpa memerlukan sistem tambahan yang kompleks [4], [5].

Selain itu, sistem ini dirancang agar *user friendly* namun andal di lingkungan industri. Sensor tekanan yang dipasang di sisi hulu dan hilir orifice akan menangkap data tekanan yang kemudian dikonversi secara digital menggunakan modul ADC. Data tersebut diproses oleh ESP32 dan ditampilkan melalui antarmuka web yang terhubung dengan HMI Nextion, sehingga pengguna dapat memantau aliran fluida secara real time, baik melalui perangkat lokal maupun jaringan. Dengan pendekatan ini, sistem monitoring menjadi lebih efisien, responsif, dan mendukung kebutuhan industri modern yang menuntut akurasi, kecepatan, serta kemudahan akses informasib [6].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem Smart *Monitoring Flow rate* menggunakan orifice flow meter berbasis mikrokontroler ESP32. Sistem ini tidak hanya mampu mengukur *flow rate*, tetapi juga mengintegrasikan data hasil pengukuran ke dalam platform berbasis web untuk meningkatkan kemudahan akses. [7].

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen prototipe untuk merancang sistem *monitoring flow rate* berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem terdiri dari orifice plate sebagai *tools* utama, sensor tekanan, ESP32, serta *web server*. Orifice plate berdiameter 1 inci dan lubang 0,54 inci digunakan untuk menciptakan perbedaan tekanan ketika fluida (air) mengalir melewati orifice plate[8].

Sensor tekanan dipasang pada sisi *upstream* dan *downstream* orifice untuk mengukur tekanan statis dan diferensial. Data tekanan dikirim ke ESP32 yang kemudian menghitung *flow rate* berdasarkan standar ISO 5167. ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE dan dilengkapi koneksi Wi-Fi untuk mengirim data ke server lokal berbasis XAMPP. *Web server* menampilkan data secara *real time* dalam bentuk grafik melalui *dashboard interface* berbasis PHP dan JavaScript[9].

Dalam mode otomatis, sistem akan menjalankan algoritma PID (Proportional-Integral-Derivative) untuk mengontrol bukaan servo pada pompa. PID ini akan menerima *feedback* dari sensor *flow rate* untuk secara otomatis menyesuaikan bukaan servo pompa, menjaga *flow rate* pada nilai *setpoint* yang diinginkan. Setelah perhitungan PID, perintah untuk membuka servo pompa akan dikirimkan. Nilai *flow rate* dihitung dengan menggunakan persamaan laju aliran pada ISO 5167 sebagai berikut:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \quad (1)$$

Berdasarkan hasil perhitungan *flow rate* dapat diketahui Bilangan Reynolds dari fluida yang mengalir. Bilangan Reynolds diperlukan untuk mengetahui kondisi aliran didalam pipa sebagai efek dari perhitungan *flow rate* menggunakan orifice. Bilangan Reynolds dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{q_m}{\rho} \#(3)$$

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \#(4)$$

$$Re_D = \frac{\rho v D}{\mu} \#(5)$$

Pada mode manual, sistem akan membaca input bukaan servo yang diberikan oleh *user* melalui HMI. Nilai bukaan servo ini kemudian langsung digunakan untuk mengontrol posisi servo pompa, memungkinkan *user* untuk mengatur *flow rate* secara langsung tanpa kontrol otomatis oleh algoritma PID. Setelah perintah pembukaan servo pompa dieksekusi, baik dalam mode otomatis maupun manual, sistem akan melanjutkan ke tahap pembacaan sensor tekanan.

Gambar 1. Diagram Alir Sistem Kontrol dan Monitoring

Pengujian dilakukan dengan variasi bukaan servo valve sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% untuk mengamati perubahan tekanan dan nilai *flow rate* yang dihasilkan. Setiap data diambil sebanyak tiga kali untuk memperoleh nilai rata-rata guna mengurangi kesalahan pengukuran [10].

3. PEMBAHASAN

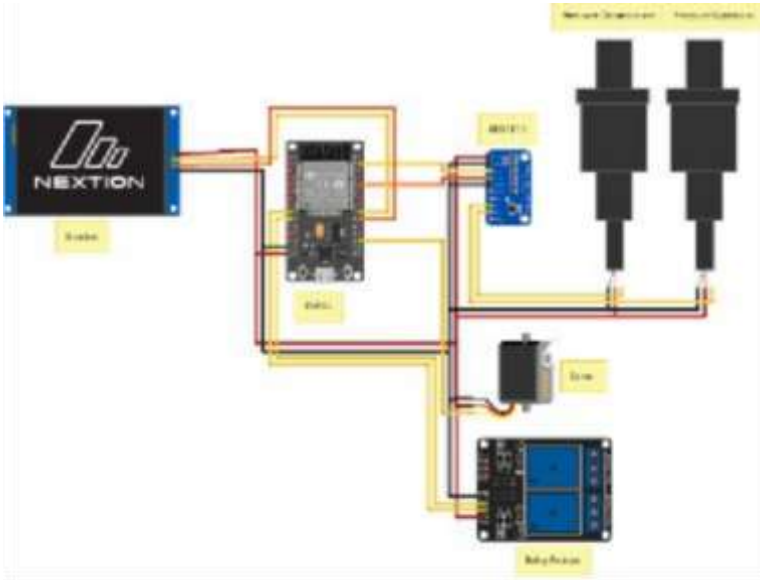
A. Hasil Penelitian Prototipe dan Sistem Monitoring

Sistem smart *monitoring* yang telah dibuat dengan mengintegrasikan sensor tekanan, mikrokontroler ESP32, dan *interface web server* untuk memantau *flow rate* secara *real time*.

Sensor tekanan diletakkan di sisi *upstream* dan *downstream* orifice untuk mendeteksi tekanan statis dan diferensial. Data yang diperoleh diolah menggunakan ESP32 yang kemudian menghitung nilai *flow rate* berdasarkan standar ISO 5167. Rangkaian alat dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem dapat merespons variasi bukaan valve. Tampilan *dashboard monitoring* menampilkan grafik tekanan statis, *differential pressure* dan *flow rate* secara dinamis dan *real time*, serta mendukung penyimpanan data melalui datalogger. Dengan ini, *user* dapat melakukan analisis terhadap pola aliran fluida secara historis maupun *real time*.

Gambar 2. Prototipe Orifice Flow Meter

Arsitektur sistem *monitoring flow rate real time* berbasis mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai unit pemroses utama. Sensor tekanan pada sisi upstream dan downstream terhubung ke modul ADC ADS1115 melalui input analog, dan data tekanan dikonversi ke bentuk digital menggunakan protokol I^2C (SDA dan SCL) sebelum diteruskan ke ESP32. Komunikasi antarmuka manusia-mesin dilakukan melalui modul HMI Nextion yang terhubung ke ESP32 via antarmuka UART (TX-RX), memungkinkan tampilan data dan kontrol parameter sistem. Untuk aktuasi, ESP32 mengendalikan pompa menggunakan modul relay melalui sinyal digital (logika HIGH/LOW) dan mengatur flow rate dengan mengirimkan sinyal PWM ke servo motor yang mengatur posisi katup. Sistem ini mengintegrasikan akuisisi data, pemrosesan sinyal, interaksi pengguna, dan kontrol aktuator dalam sebuah platform embedded yang saling terhubung secara fungsional. Wiring sistem Orifice Flow Meter dapat diperhatikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Wiring Sistem Prototipe Orifce Flow Meter

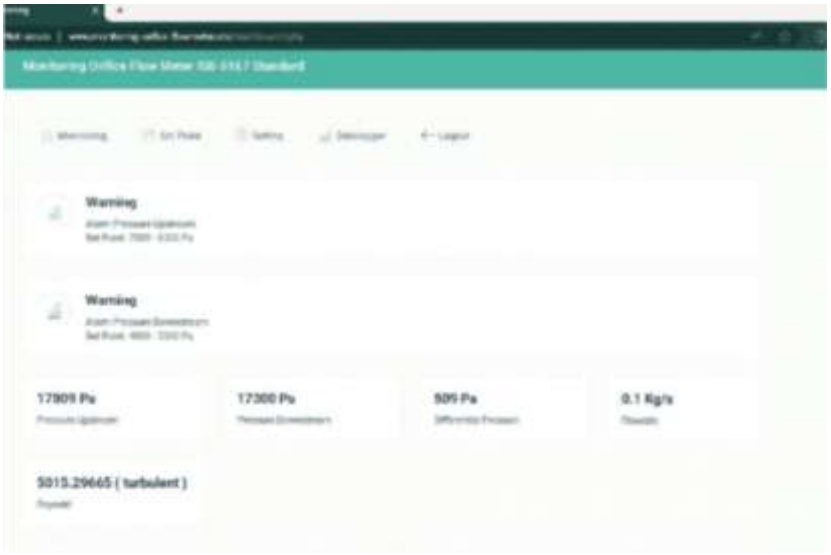
B. Hasil Penelitian Prototipe dan Sistem Monitoring

Penerapan konsep *Internet of Things* (IoT) dalam sistem ini menjadikan proses *monitoring* lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Penggunaan ESP32 memungkinkan konektivitas nirkabel, sedangkan integrasi dengan *web server* berbasis XAMPP dan database MySQL memungkinkan penyimpanan dan pengambilan data secara mudah[11][12].

Sistem ini tidak hanya memungkinkan visualisasi data secara langsung, tetapi juga memungkinkan pengunduhan data untuk analisis lebih lanjut. Dengan tambahan fitur datalogger, sistem dapat digunakan untuk *monitoring* jangka panjang. Hal ini tentunya sangat bermanfaat dalam mendukung kegiatan kontrol dan *maintenance* di industri. Dalam pengembangan sistem *smart monitoring flow rate* menggunakan orifice flow meter berbasis mikrokontroler, salah satu komponen penting adalah integrasi antara sistem *back end* dan *front end* pada platform *monitoring* berbasis web. Keduanya saling terhubung untuk memastikan data hasil pengukuran dapat diproses dan ditampilkan secara *real time* serta mudah diakses oleh *user*.

Sistem back end bertugas sebagai jembatan utama antara *hardware* dan *interface user*. Dalam sistem ini, ESP32 mengirimkan data hasil pembacaan sensor tekanan melalui protokol HTTP ke server lokal menggunakan metode POST. Data tersebut kemudian diproses oleh skrip PHP dan disimpan ke dalam database MySQL yang berjalan pada platform XAMPP. Penyimpanan data ini penting untuk memastikan bahwa semua hasil pengukuran, baik tekanan *upstream*, tekanan *downstream*, maupun nilai *flow rate*, dapat direkam dan dianalisis secara historis[11].

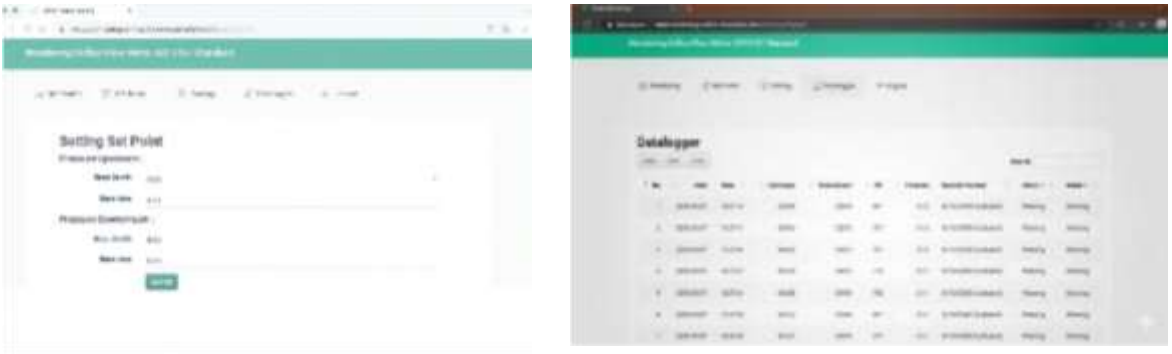
Di sisi lain, sistem *front end* merupakan tampilan *interface* yang digunakan *user* untuk memantau proses *monitoring*. *Interface* ini dibangun menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript. Dalam proyek ini, JavaScript digunakan untuk mengolah data yang diambil dari server dan menampilkannya dalam bentuk grafik dinamis menggunakan library Chart.js. Tampilan *dashboard* seperti pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 menampilkan berbagai parameter seperti tekanan, *differential pressure*, dan *flow rate* dalam format visual yang mudah dipahami oleh *user*.



Gambar 4. Dashboard Sistem Monitoring Orifice Flow Meter

(a) (b)

Gambar 5. Dashboard Sistem Monitoring Grafik Orifice Flow Meter
(a) Pressure Upstream dan Pressure Downstream
(b) Differential Pressure dan Flowrate



(a) (b)

Gambar 6. Laman Set Point Sistem Monitoring Orifice Flow Meter
(a) Setting Set Point
(b) Datalogger

User dapat mengakses sistem *monitoring* ini melalui browser dengan tampilan yang ramah *user* dan mendukung *monitoring* secara daring melalui jaringan lokal atau Wi-Fi [13]. Halaman *dashboard* juga dilengkapi fitur datalogging yang memungkinkan data direkam dan ditampilkan kembali berdasarkan rentang waktu tertentu.

C. Analisis Data Flow rate dan Reynold Number

Pengujian sistem dilakukan dengan variasi bukaan servo valve pada empat level; 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang linier antara bukaan valve dan nilai *flow rate* yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan prinsip Bernoulli, di mana semakin besar luas penampang aliran akibat bukaan valve, maka *flow rate* akan semakin tinggi karena tekanan diferensial yang terbentuk semakin rendah. Data pengukuran aktual *flow rate* dan hasil perhitungan sistem ditampilkan dalam Tabel 1, sedangkan nilai bilangan Reynolds ditampilkan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Aktual *Flow rate* dan Perhitungan Sistem

Aktual *Flow rate* (kg/s)	*Flow rate* Calculation (kg/s)
100% Open	
0,2	0,195078145
0,2	0,19517191
0,2	0,195031246
75% Open	
0,18	0,18497
0,18	0,18452
0,18	0,18487
50% Open	
0.16	0,155051
0,16	0,155346
0,15	0,154756
25% Open	
0,13	0,132391
0,13	0,133149
0,13	0,130582

Hasil perhitungan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa selisih antara nilai aktual dan nilai sistem kecil, rata-rata berada di bawah 5%, sehingga sistem dapat dikategorikan akurat. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara sensor tekanan dan algoritma perhitungan dalam mikrokontroler ESP32 bekerja dengan semestinya [14]. Selain itu, bilangan Reynolds dari setiap kondisi tertera menunjukkan nilai di atas 4000, yang berarti bahwa aliran fluida bersifat turbulen. Hal ini sesuai dengan karakteristik orifice flow meter yang dirancang untuk bekerja optimal dalam kondisi aliran turbulen. Adanya aliran turbulen ini juga menjadi pertanda bahwa desain sistem mampu merepresentasikan kondisi aktual di industry.[15]. Sebagai alat perbandingan dilakukan percobaan menggunakan larutan air sabun untuk mengenatuhi perbedaan Reynold Number untuk mengetahui kondisi flow dari larutan. Data perbandingan bilangan reynold number pada Tabel 3.

Tabel 2. Perbandingan Aktual dan Perhitungan Reynold Number

Aktual Reynold Number (kg/s)	Reynold Number Calculation (kg/s)
100% Valve Open	
10030.5933	9783,747702
10030.5933	9788,450296
10030.5933	9781,395556
75% Valve Open	
9027.53397	9276,72
9027.53397	9254,37
9027.53397	9271,76
50% Valve Open	
8024.47464	7776,27
8024.47464	7791,05
7522.94498	7761,46
25% Valve Open	
6519.88565	6639,82
6519.88565	6677,83
6519.88565	6549,1

Tabel 3. Perbandingan Reynold Number Media Air dan Larutan Air Sabun

Air		Larutan Air Sabun	
Reynold Number	***Condition***	**Reynold Number**	***Condition***
Valve 100% Open			
10030.5933	Turbulent	10532.1229	Turbulent
10030.5933	Turbulent	10532.1229	Turbulent
10030.5933	Turbulent	10532.1229	Turbulent
Valve 75% Open			
9027.53397	Turbulent	9529.06364	Turbulent
9027.53397	Turbulent	9529.06364	Turbulent
9027.53397	Turbulent	9027.53397	Turbulent
Valve 50% Open			
8024.47464	Turbulent	8526.00431	Turbulent
8024.47464	Turbulent	8526.00431	Turbulent
7522.94498	Turbulent	8024.47464	Turbulent
Valve 25% Open			
6519.88565	Turbulent	7021.41531	Turbulent
6519.88565	Turbulent	7021.41531	Turbulent
6519.88565	Turbulent	6018.35598	Turbulent

Pada percobaan yang dilakukan, dilakukan pembandingan nilai Reynolds Number antara dua jenis fluida, yaitu air murni dan larutan air sabun dengan variasi bukaan valve sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengamati bagaimana sifat fisik dari masing-masing fluida memengaruhi karakteristik aliran, serta untuk mengetahui apakah terjadi perubahan kondisi aliran yang signifikan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai Reynolds Number pada larutan air sabun cenderung sedikit lebih besar dibandingkan dengan air murni untuk setiap tingkat bukaan valve. Meskipun demikian, semua nilai Reynolds Number yang diperoleh tetap berada di atas angka 4000 yang menunjukkan bahwa kondisi aliran tetap tergolong dalam kategori turbulen.

Secara keseluruhan, prototipe sistem ini tidak hanya memberikan data sebenarnya yang konsisten, tetapi juga membuktikan bahwa penggunaan teknologi *Internet of Things* dalam bidang instrumentasi mampu memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, dan kecepatan akses terhadap data proses.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem smart *monitoring flow rate* berbasis orifice flow meter dan mikrokontroler ESP32 yang mampu memantau *flow rate* fluida secara *real time*. Sistem ini menggunakan sensor tekanan pada sisi *upstream* dan *downstream* untuk menghitung *differential pressure* yang kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan nilai *flow rate* berdasarkan standar ISO 5167. Data yang diperoleh dikirim melalui koneksi nirkabel ke *web server* dan ditampilkan dalam bentuk grafik, sehingga memudahkan proses *monitoring* secara daring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur *flow rate* dalam rentang 0,1283 kg/s hingga 0,2995 kg/s dengan variasi bukaan valve antara 25% hingga 100%. Selain itu, perhitungan bilangan Reynolds mengindikasikan bahwa aliran yang terjadi bersifat turbulen, sesuai dengan karakteristik fluida dalam sistem ini. Secara keseluruhan, integrasi antara teknologi *Internet of Things* dengan instrumen pengukuran seperti orifice flow meter sejalan dengan kemudahan *monitoring* aliran fluida di lingkungan industri.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] International Standard, "ISO 5167-1: Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full," 2022.

[2] A. A. A. Bakar, Z. A. Bakar, Z. M. Yusoff, M. J. M. Ibrahim, N. A. Mokhtar, and S. N. Zaiton, "IoT-Based Real-Time Water Quality Monitoring and Sensor Calibration for Enhanced Accuracy and Reliability," *International Journal of Interactive Mobile Technologies* , vol. 19, no. 1, pp. 155–170, Jan. 2025, doi: 10.3991/ijim.v19i01.51101.

[3] M. Prajakta, A. Dhane, and A. B. Kakade, "Contactless Running Water Flow Detection and Water Flow Measurement System," 2018. [Online]. Available: www.ijert.org

[4] S. Suhaeb and A. Risal, "Implementation of ESP32-Based Web Host For Control and Monitoring of Robotic Arm," Nov. 2024.

[5] P. Stanojevic, B. Orlic, M. Misita, N. Tatalovic, and G. B. Lenkey, "Online monitoring and assessment of emerging risk in conventional industrial plants: Possible way to implement integrated risk management approach and KPIs," *J Risk Res*, vol. 16, no. 3–4, pp. 501–512, Apr. 2013, doi: 10.1080/13669877.2012.729531.

[6] K. Zhao, M. Hu, and Y. Chen, "Development and application of pressure transmitter based on IMC chip," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2024. doi: 10.1088/1742-6596/2815/1/012019.

[7] N. S. Nur and S. Totok Ruki Biyanto, "DESIGN OF FLOWRATE MEASUREMENT AND MONITORING SYSTEM ON ORIFACE PLATE USING MPX2010DP SENSOR BASED ON ARDUINO," 2016.

[8] N. D. Cano, A. P. de Camargo, G. L. Muniz, J. de Oliveira, J. G. D. Filho, and J. A. Frizzone, "Performance of models to determine flow rate using orifice plates," *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental*, vol. 25, no. 1, pp. 10–16, 2020, doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n1p10-16.

[9] E. Geschwinde and H.-J. Schonig, *PHP and PostgreSQL: Advanced Web Programming*. Indianapolis: Sams Publishing, 2022.

[10] [10] B. R. Navada, S. K. Venkata, and P. Mohanty, "Efficient Flow Control in Industrial Processes: Estimating In-flow at Control Valves Without Physical Sensors," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 5, no. 3, pp. 875–883, 2024, doi: 10.18196/jrc.v5i3.21674.

[11] [11] B. Nugroho, *Panduan Lengkap Menguasai Perintah SQL*. mediakita, 2008.
[12] [12] B. H. Sirenden, T. Tamba, and E. S. Zebua, "Rain Measurement Simulation Using the Hall Effect Flow-Meter," *Journal of Technomaterial Physics*, vol. 2, no. 2, pp. 100–107, 2020.
[13] [13] D. Priyanti and S. Iriani, "Sistem Informasi Data Penduduk Pada Desa Bogoharjo Kecamatan Ngadirojo Kabupaten Pacitan," 2013. [Online]. Available: http://ijns.org
[14] [14] H. Qin, R. Dang, and B. Dang, "Research on Liquid Flow Measurement Method Based on Heat Transfer Method," *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 6, Mar. 2023, doi: 10.3390/w15061052.
[15] [15] V. K. Singh and T. John Tharakan, "Numerical simulations for multi-hole orifice flow meter," *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 45, pp. 375–383, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2015.08.004.

Daftar Simbol

q_m	=	Mass *flow rate*, kg/s
C	=	Coefficient of discharge
ε	=	Expansion factor
A	=	Luas orifice, m^3
ΔP	=	*Differential pressure*, Pa
Re_D	=	Reynold Number
m	=	Viskositas, Ns/m
r	=	Massa jenis, kg/m^3