

RANCANG BANGUN *POWER LOGGER* UNTUK MENGETAHUI KARAKTERISTIK GELEMBUNG

**Syahrindra Zainal A. H; Muttaqin Rahmat Pangaribawa, S.T., M.Eng.
Fakultas Teknik, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gelembung udara yang terbentuk akibat variasi hambatan pada pompa dalam sistem aerator Venturi. Hambatan diatur menggunakan potensiometer, sedangkan parameter arus dan tegangan dicatat menggunakan power logger berbasis sensor INA219 yang sebelumnya telah dikalibrasi terhadap multimeter. Eksperimen dilakukan dengan variasi hambatan dari 2,5 k Ω hingga 10,0 k Ω untuk mengamati perubahan ukuran dan jarak antar gelembung yang terbentuk dalam akuarium berisi 12 liter air bersih. Citra gelembung dianalisis menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk mendapatkan data kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi hambatan pada pompa berdampak signifikan terhadap ukuran dan persebaran gelembung. Hambatan yang lebih kecil menghasilkan gelembung lebih kecil dan padat, sedangkan hambatan lebih besar menghasilkan gelembung berukuran lebih besar dengan jarak yang lebih renggang. Rata-rata akurasi pengukuran power logger terhadap multimeter mencapai lebih dari 98%, menunjukkan reliabilitas sistem pengukuran. Temuan ini diharapkan dapat berkontribusi dalam optimalisasi sistem aerasi, khususnya dalam budidaya perikanan dan rekayasa sistem reaktor berbasis pertukaran gas cair.

Kata kunci: gelembung udara, aerator venturi, potensiometer, power logger, kalibrasi.

This study aims to analyze the characteristics of air bubbles formed due to variations in pump resistance within a Venturi aerator system. The resistance is controlled using a potentiometer, while electrical parameters such as current and voltage are recorded using a power logger based on the INA219 sensor, which was previously calibrated against a multimeter. Experiments were conducted using resistance variations from 2,5 k Ω to 10,0 k Ω to observe changes in the size and spacing of bubbles formed in a 12-liter clean water aquarium. Bubble images were analyzed using ImageJ software to obtain quantitative data. The results show that varying the pump resistance significantly affects bubble size and distribution. Lower resistance tends to produce smaller and denser bubbles, while higher resistance results in larger bubbles with wider spacing. The average measurement accuracy of the power logger exceeded 98%, indicating reliable data acquisition. These findings are expected to contribute to the optimization of aeration systems, particularly in aquaculture and gas-liquid exchange reactor engineering.

Keywords: air bubbles, Venturi aerator, potentiometer, power logger, calibration.

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem fluida, keberadaan gelembung udara memiliki peran penting dalam memengaruhi perilaku aliran, khususnya terkait turbulensi mikro dan efisiensi pertukaran massa antara fase gas dan cair. Gelembung tidak hanya mencerminkan kondisi aliran, tetapi juga dapat menginduksi gangguan turbulen dan memodifikasi distribusi tekanan lokal di dalam fluida (Risso, 2018). Karakteristik gelembung seperti ukuran dan jumlahnya terbukti memiliki pengaruh langsung terhadap intensitas dan pola aliran yang terbentuk. Gelembung besar dalam jumlah terbatas cenderung menciptakan aliran yang kuat dan terarah, sedangkan gelembung kecil dalam jumlah banyak lebih efektif dalam mendistribusikan mikro turbulensi secara merata serta meningkatkan luas permukaan interaksi untuk difusi gas, yakni pemindahan partikel dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke rendah (Clift et al., 2005). Fenomena ini menjadi sangat penting ketika diaplikasikan dalam sistem berbasis pompa yang terhubung dengan pipa venturi yang praktis, sederhana, dan mudah digunakan (Huang et al., 2020), dengan variasi hambatan atau beban kerja pompa dapat diatur untuk memengaruhi laju aliran dan, secara tidak langsung, karakteristik gelembung yang terbentuk.

Dalam konteks ini, potensiometer dapat digunakan sebagai komponen pengatur yang mengontrol besar kecilnya hambatan pada pompa, sehingga memungkinkan terjadinya variasi kecepatan aliran fluida dan pembentukan gelembung udara yang berbeda-beda. Disamping itu, dalam upaya memahami performa sistem secara komprehensif, dibutuhkan pemantauan konsumsi daya listrik dari pompa secara real-time. Untuk tujuan ini, perangkat power logger berbiaya rendah dapat diimplementasikan sebagai alat pemantau beban listrik, memungkinkan pencatatan profil konsumsi daya secara terus menerus dan akurat (Arifa dan Harjunowibowo, 2022). Dengan adanya data konsumsi daya yang terekam secara sistematis, hubungan antara variasi hambatan, performa 1 pompa, dan efisiensi energi dapat dianalisis lebih dalam, sekaligus menjadi dasar pengambilan keputusan dalam

pengelolaan energi sistem. Studi mengenai karakteristik gelembung udara terhadap variasi hambatan pompa melalui pipa venturi dan potensiometer menjadi penting untuk memahami keterkaitan antara variabel kontrol mekanik dengan dinamika fluida mikro, khususnya dalam sistem yang mengandalkan efisiensi pertukaran massa dan energi. Kajian ini difokuskan pada pengaruh perubahan hambatan pada pompa terhadap pembentukan gelembung udara dalam air, baik dari segi ukuran, dan distribusi gelembung. Gelembung yang lebih kecil meningkatkan area antarmuka gas-cair, meningkatkan laju difusi dan retensi udara, serta mengurangi laju kenaikan gelembung (Gordiychuk et al., 2016). Temuan dari studi ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan sistem aerasi, reaktor biologis, atau aplikasi teknik lainnya yang memanfaatkan dinamika gelembung untuk meningkatkan efisiensi proses.

2. METODE

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur dan studi lapangan guna memperoleh landasan teori serta memahami kondisi empiris terkait sistem pengukuran daya dan karakteristik gelembung pada pompa dengan aerator venturi. Tahap selanjutnya adalah persiapan alat dan bahan, yang meliputi *power logger*, multimeter, pompa, potensiometer, dan aerator venturi. Setelah seluruh alat tersedia, dilakukan proses pengkalibrasian *power logger* menggunakan multimeter. Kalibrasi dilakukan berdasarkan pola variasi hambatan untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan oleh *power logger* memiliki akurasi yang memadai. Kalibrasi ini menjadi langkah penting agar alat pengukur daya dapat digunakan secara valid dalam eksperimen. Pengujian dilakukan secara paralel menggunakan *power logger* dan multimeter pada pompa. Hasil pengujian dari kedua alat dibandingkan untuk menilai validitas kalibrasi.

Apabila hasil kalibrasi belum valid, maka proses pengujian diulang hingga diperoleh hasil yang memenuhi standar akurasi yang ditetapkan. Sebaliknya, jika hasil kalibrasi dinyatakan valid, maka data yang dihasilkan dapat digunakan untuk keperluan analisis lebih lanjut. Data hasil pengujian terdiri dari tiga bagian utama.

Pertama, dilakukan pembacaan arus dan tegangan dari *power logger* untuk mengetahui karakteristik kelistrikan pada sistem. Kedua, dilakukan analisis ukuran gelembung dengan menggunakan perangkat lunak ImageJ, dan ketiga, dilakukan analisis jarak antar gelembung, juga menggunakan ImageJ. Seluruh data yang telah diperoleh dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan dan saran yang relevan terhadap tujuan penelitian. Dengan demikian, rangkaian penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan bahwa proses pengumpulan data berjalan akurat, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3. 1 Verifikasi Pengambilan Data *Power Logger*

Power logger diuji coba dengan melakukan pengukuran pada rangkaian potensiometer yang terhubung dengan pompa DC 12 volt. Pengukuran dilakukan pada rentang 2,5 k Ω sampai 10,0 k Ω potensiometer dengan tegangan bus yang sama, yakni 12 volt dengan interval pengambilan data selama 5 detik. Hasil pengukuran voltase dan arus oleh *power logger* dibandingkan dengan multimeter digital sebagaimana terlihat masing-masing pada Tabel 3. 1 dan Tabel 3. 2 menunjukkan hasil pengukuran voltase dan arus pada proses pengujian.

Tabel 3. 1 Data Pengukuran voltase oleh *power logger* dan Multimeter sebelum kalibrasi

NO	Hambatan Potensiometer	Voltage (Volt)		Akurasi PL (%)	Ketidakpastian PL (Δx)
		Multimeter	<i>Power Logger</i>		
1	10,00 k Ω	3,6	3,5	97,22222	0,099
2	9,17 k Ω	4,2	4,1	97,61905	0,1
3	8,33 k Ω	4,9	4,8	97,95918	0,1
4	7,50 k Ω	6,0	5,9	98,33333	0,102
5	6,67 k Ω	7,2	7,1	98,61111	0,102
6	5,83 k Ω	7,9	7,8	98,73418	0,103
7	5,00 k Ω	8,5	8,4	98,82353	0,104
8	4,17 k Ω	9,4	9,3	98,93617	0,103
9	3,33 k Ω	10,2	10,1	99,01961	0,104

10	2,50 k Ω	10,6	10,5	99,0566	0,104
Rata-rata				98,4315	0,1021

Data pada tabel di atas menunjukkan hasil pengukuran voltase dengan *power logger* dibandingkan dengan multimeter digital Sanwa CD800A. Hasil pengukuran pada pencatat daya menghasilkan akurasi 98,43% dengan nilai ketidakpastian menghasilkan nilai rata-rata sebesar $\pm 0,1021$.

Tabel 3. 2 Data pengukuran arus oleh *power logger* dan multimeter sebelum kalibrasi

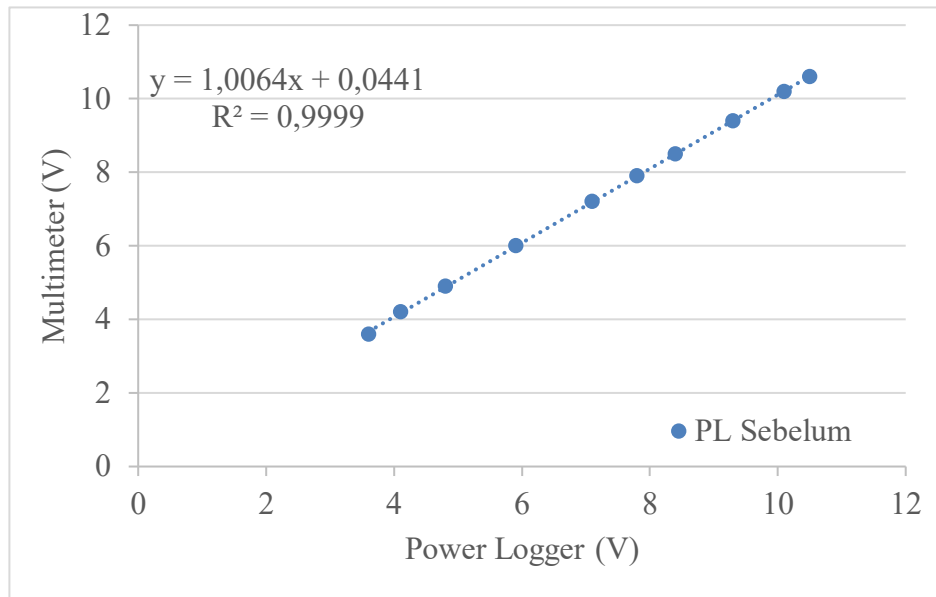
NO	Hambatan Potensio	Arus (A)		Akurasi PL (%)	Ketidakpastian PL (Δx)
		Multimeter	<i>Power Logger</i>		
1	10,00 k Ω	0,223	0,23	96,86099	0,0073
2	9,17 k Ω	0,272	0,27	99,26471	0,0021
3	8,33 k Ω	0,31	0,3	96,77419	0,0098
4	7,50 k Ω	0,373	0,37	99,19571	0,0031
5	6,67 k Ω	0,477	0,46	96,43606	0,0126
6	5,83 k Ω	0,495	0,47	94,94949	0,0239
7	5,00 k Ω	0,525	0,52	99,04762	0,0052
8	4,17 k Ω	0,584	0,59	98,9726	0,0064
9	3,33 k Ω	0,607	0,6	98,84679	0,0072
10	2,50 k Ω	0,611	0,61	99,83633	0,0013
Rata-rata				98,01845	0,00789

Pada pengukuran arus oleh *power logger* dan multimeter, didapatkan nilai rerata nilai akurasi sebesar 98,01%, dengan nilai rata-rata ketidakpastian atau rentang dimana nilai benar berada bernilai 0,00789. Dari kedua tabel tersebut, dapat disimpulkan bahwa *power logger* memiliki performa yang cukup baik secara fungsional, namun terdapat deviasi kecil yang masih dapat diminimalisir untuk mendapatkan alat ukur yang akurat dan presisi.

3. 2 Peminimalisiran Galat pada *Power Logger*

Setelah dilakukannya verifikasi pada *power logger*, langkah selanjutnya ialah meminimalisir galat atau deviasi yang terjadi pada *power logger*. Nilai akurasi yang

didapatkan dari pengukuran voltase dan arus oleh *power logger* dan multimeter dapat ditingkatkan dengan melakukan kalibrasi, yang dilakukan dengan menentukan besaran konstanta kalibrasi berdasarkan grafik linier antara data hasil pengukuran oleh *power logger* dengan multimeter. Pada Gambar 3. 1, dapat dilihat grafik linier perbandingan kedua alat yang didapatkan dari data pengukuran voltase sebelum kalibrasi pada Tabel 3. 1.



Gambar 3. 1. Grafik perbandingan data voltase sebelum kalibrasi

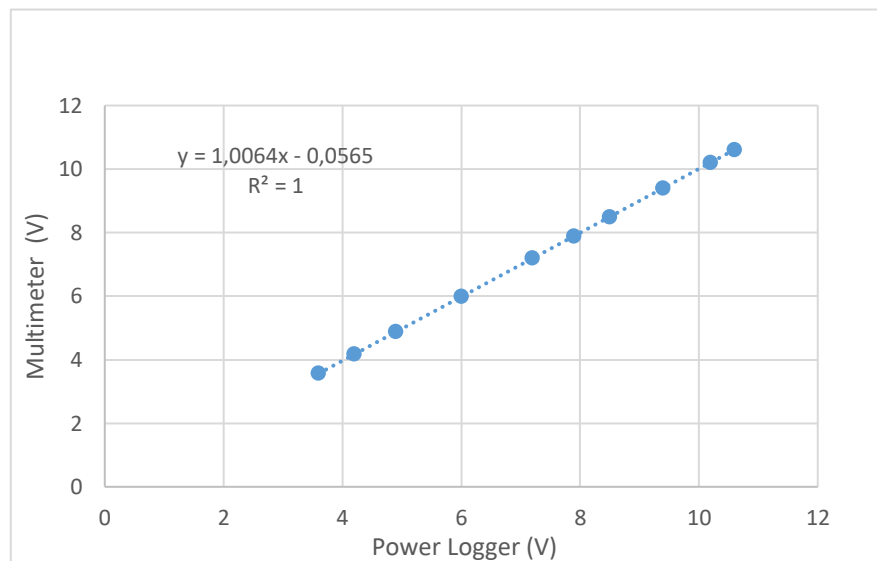
Persamaan garis yang diperoleh dari grafik yakni $y = 1,006x + 0,0441$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9999. Kalibrasi dilakukan dengan memasukkan data hasil pengukuran *power logger* sebagai nilai x dari persamaan garis yang didapat dari grafik pada Gambar 3. 1. Data pengukuran *power logger* yang sudah dikalibrasi kembali dibandingkan dengan hasil pengukuran multimeter.

Tabel 3. 1. Data pengukuran voltase oleh Power Logger dan Multimeter setelah kalibrasi

NO	Hambatan Potensiometer	Voltase		Akurasi PL (%)	Ketidakpastian PL(Δx)
		Multimeter	Power Logger		

1	10,00 k Ω	3,6	3,5665	99,06944	0,0349
2	9,17 k Ω	4,2	4,17034	99,29381	0,0318
3	8,33 k Ω	4,9	4,87482	99,48612	0,0273
4	7,50 k Ω	6	5,98186	99,69767	0,021
5	6,67 k Ω	7,2	7,18954	99,85472	0,0144
6	5,83 k Ω	7,9	7,89402	99,9243	0,0106
7	5,00 k Ω	8,5	8,49786	99,97482	0,0083
8	4,17 k Ω	9,4	9,40362	99,96149	0,0085
9	3,33 k Ω	10,2	10,20874	99,91431	0,0143
10	2,50 k Ω	10,6	10,6113	99,8934	0,0169
Rata-rata				99,70701	0,0188

Data tersebut menunjukkan pengukuran voltase oleh *power logger* memiliki ketelitian sebesar 99,70%. Data pengukuran yang sudah dikalibrasi kembali dibandingkan dengan hasil pengukuran multimeter. Gambar 3. 2. Dapat diamati kelinieran datanya.



Gambar 3. 2. Grafik perbandingan data voltase setelah kalibrasi

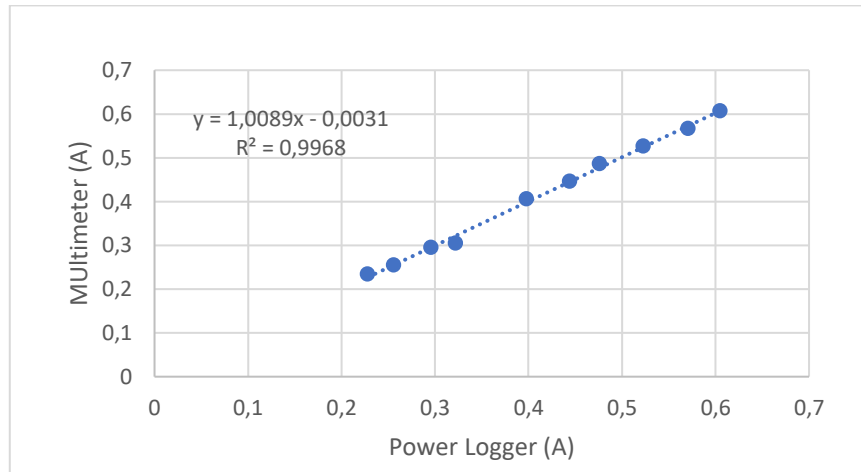
Nilai rata-rata akurasi pengukuran arus yang dihasilkan *power logger* sebelum dikalibrasi ialah 98,02%. Kalibrasi dengan menentukan besar konstanta kalibrasi berdasar pada grafik linier kedua alat ukur. Gambar 4. 3 menunjukkan grafik linier

dari hasil pengukuran kedua alat ukur. Data pengukuran *power logger* yang sudah dikalibrasi dibandingkan kembali dengan hasil pengukuran multimeter sebagaimana Tabel 4. 3.

Tabel 4. 3. Data pengukuran arus oleh power logger dan multimeter setelah kalibrasi.

NO	Hambatan Potensio	Arus (A)		Akurasi PL (%)	Ketidakpastian PL
		Multimeter	<i>Power Logger</i>		
1	10,00 k Ω	0,223	0,234233	94,96278	0,0121
2	9,17 k Ω	0,272	0,274517	99,07463	0,003
3	8,33 k Ω	0,31	0,30473	98,3	0,0047
4	7,50 k Ω	0,373	0,375227	99,40295	0,0028
5	6,67 k Ω	0,477	0,465866	97,66583	0,0098
6	5,83 k Ω	0,495	0,475937	96,14889	0,0172
7	5,00 k Ω	0,525	0,526292	99,7539	0,0026
8	4,17 k Ω	0,584	0,596789	97,8101	0,0146
9	3,33 k Ω	0,607	0,60686	99,97694	0,0002
10	2,50 k Ω	0,611	0,616931	99,0293	0,0063
				98,21253	0,00733

Data tersebut menunjukkan pengukuran arus oleh *power logger* memiliki ketelitian sebesar 98,21%. Data pengukuran yang sudah dikalibrasi kembali dibandingkan dengan hasil pengukuran multimeter. Pada Gambar 3. 4 dapat diamati kelinieran datanya.



Gambar 3. 3. Grafik perbandingan data arus setelah kalibrasi

Grafik menunjukkan hubungan linear antara arus referensi (*power logger*) dan hasil pengukuran (multimeter) setelah proses kalibrasi. Persamaan regresi diperoleh $y = 1,0089x - 0,0031$ dengan $R^2 = 0,9968$. Hasil ini mengindikasikan bahwa kalibrasi berhasil memperbaiki deviasi sistematis dan mempertahankan hubungan linier yang sangat kuat.

3. 3 Karakteristik Gelembung Udara Terhadap Variasi Hambatan Pompa

Karakteristik gelembung berupa ukuran dan jarak bertujuan untuk menampilkan kondisi karakteristik gelembung udara yang dihasilkan pada pompa yang terhubung dengan aerator venturi dengan potensiometer sebagai resistor variabel.

1. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 2,5 kΩ

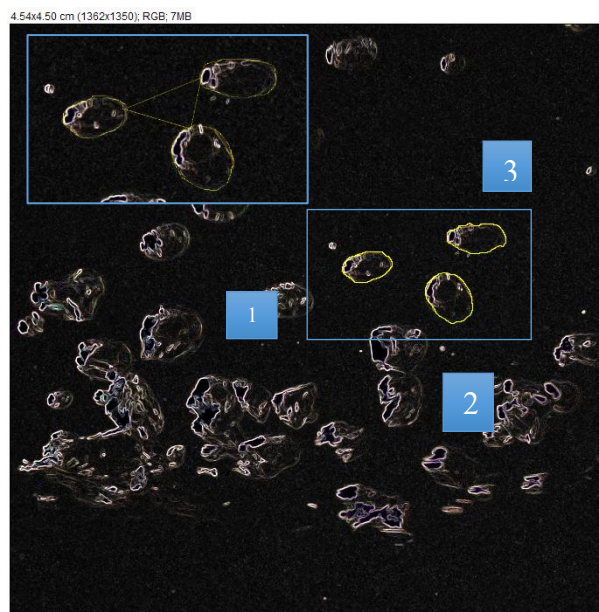
Tabel 3. 2 Pengukuran jarak gelembung pada hambatan 2,5 kΩ

Gelembung	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-3	Pengukuran ke-4	Pengukuran ke-5	Hasil Pengukuran (cm)
3 – 2	0,206	0,208	0,205	0,206	0,207	0,206
1 – 2	0,316	0,317	0,315	0,318	0,314	0,316
3 – 1	0,648	0,648	0,65	0,647	0,652	0,648

Tabel 3. 3 Luas gelembung pada hambatan 2,5 kΩ.

Gelembung	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-3	Pengukuran ke-4	Pengukuran ke-5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1	0,066	0,069	0,066	0,069	0,068	0,066
2	0,102	0,102	0,102	0,101	0,101	0,102
3	0,078	0,077	0,076	0,076	0,076	0,076

Pada nilai hambatan 2,5 k Ω , *power logger* mencatat arus sebesar 0,608 A dan tegangan 10,61 V. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,008cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 0,39 cm



Gambar 3. 4. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

2. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 3,3 k Ω

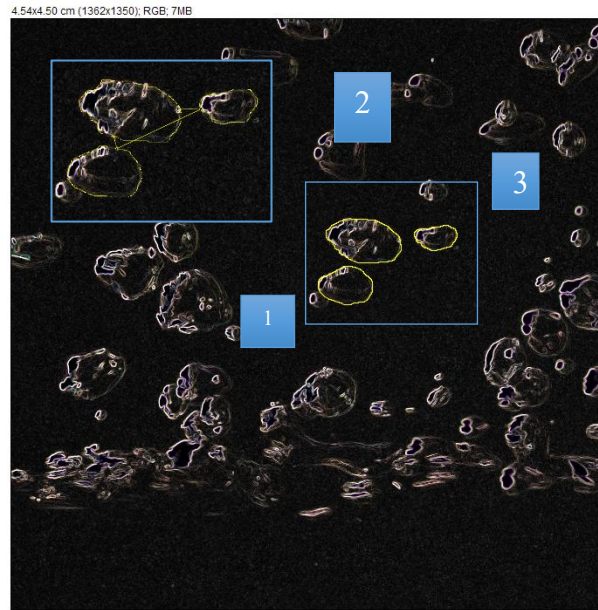
Tabel 3. 4. Pengukuran jarak gelembung pada hambatan 3,3 k Ω

Gelembung	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-3	Pengukuran ke-4	Pengukuran ke-5	Hasil Pengukuran (cm ²)
3 – 1	0,073	0,074	0,072	0,073	0,075	0,073
3 – 2	0,518	0,518	0,517	0,519	0,516	0,518
2 – 1	0,13	0,129	0,131	0,13	0,132	0,13

Tabel 3. 5. Luas gelembung pada hambatan 3,3 k Ω

Gelembung	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-3	Pengukuran ke-4	Pengukuran ke-5	Hasil Pengukuran (cm)
1	0,089	0,089	0,090	0,090	0,091	0,089
2	0,145	0,145	0,143	0,147	0,144	0,145
3	0,047	0,048	0,046	0,046	0,046	0,046

Pada nilai hambatan 3,3 k Ω , *power logger* mencatat arus sebesar 0,606 A dan tegangan 10,208 V. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,0933 cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 0,240 cm.



Gambar 3. 5. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

3. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 4,17 k Ω

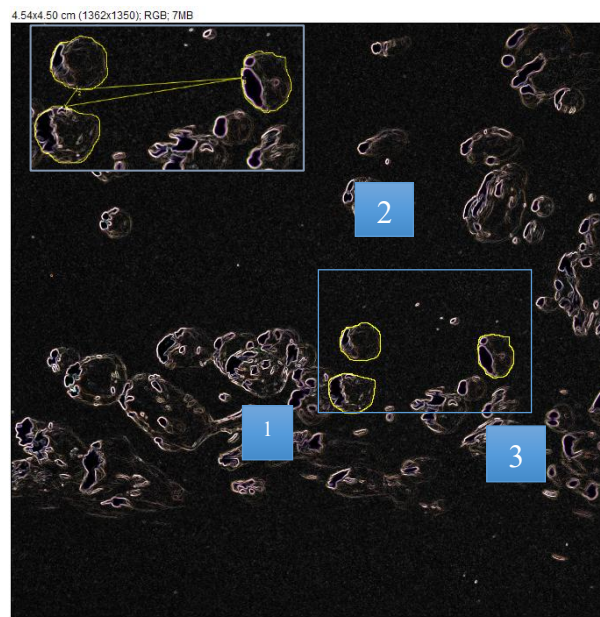
Tabel 3. 6. Jarak gelembung pada hambatan 4,17

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm)
2 – 1	0,122	0,121	0,123	0,122	0,124	0,122
3 – 2	0,899	0,901	0,898	0,896	0,899	0,899
3 – 1	0,984	0,984	0,985	0,982	0,983	0,984

Tabel 3. 7. Luas gelembung pada hambatan 4,17 k Ω

Gelembung	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-3	Pengukuran ke-4	Pengukuran ke-5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1	0,088	0,087	0,086	0,086	0,085	0,86
2	0,071	0,072	0,072	0,073	0,072	0,072
3	0,071	0,069	0,072	0,071	0,071	0,071

Pada nilai hambatan 4,17 k Ω , sensor *power logger* mencatat arus sebesar 0,584 A dan tegangan 9,4 V. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,0763 cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 0,6683 cm



Gambar 3. 6. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

4. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 5,0 k Ω

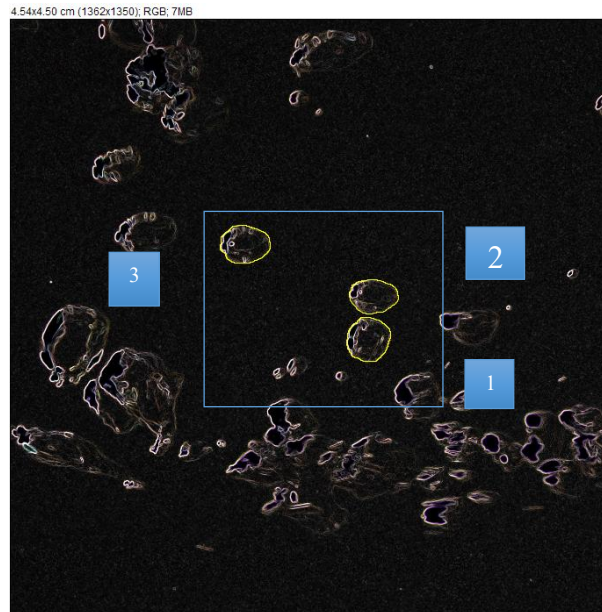
Tabel 3. 8. Pengukuran luas gelembung pada hambatan 5,0 k Ω

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil pengukuran (cm ²)
1	0,084	0,081	0,083	0,084	0,081	0,081
2	0,073	0,072	0,073	0,072	0,072	0,072
3	0,082	0,083	0,083	0,082	0,083	0,082

Tabel 3. 9. Jarak gelembung pada hambatan 5,0 k Ω

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1 – 2	0,045	0,046	0,044	0,045	0,046	0,045
2 – 3	0,89	0,892	0,888	0,891	0,889	0,89
1 – 3	0,911	0,912	0,91	0,909	0,911	0,911

Pada nilai hambatan 5,00 k Ω , sensor *power logger* mencatat arus sebesar 0,526 A dan tegangan 8,49 V. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,0783cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 0,61533 cm.



Gambar 3. 7. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

5. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 5,83 k Ω

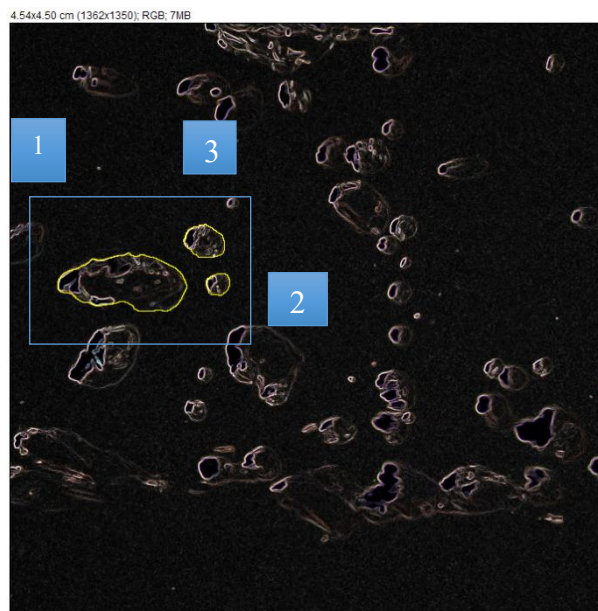
Tabel 3. 10. Pengukuran luas gelembung pada hambatan 5,83 k Ω

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1	0,257	0,256	0,258	0,255	0,256	0,256
2	0,023	0,023	0,022	0,023	0,023	0,023
3	0,057	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056

Tabel 3. 11 Jarak gelembung pada hambatan 5,83 k Ω

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1 – 2	0,156	0,155	0,157	0,156	0,158	0,156
2 – 3	0,201	0,2	0,202	0,201	0,2	0,201
1 – 3	0,207	0,209	0,206	0,208	0,207	0,207

Pada nilai hambatan 5,83 k Ω , sensor *power logger* mencatat arus sebesar 0,475 A dan tegangan 7,894 V. Arus dan tegangan tersebut menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,1116 cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 0,118 cm.



Gambar 3. 8. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

6. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 6,67 k Ω

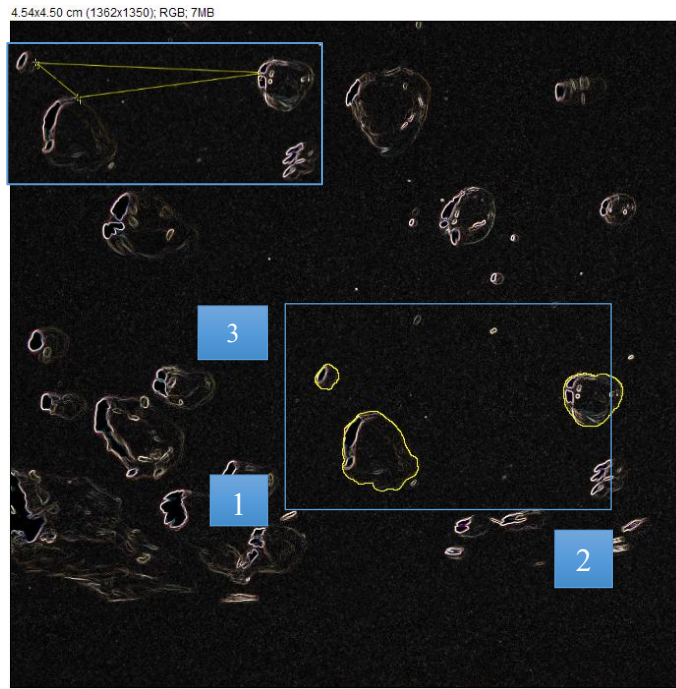
Tabel 3. 12. Pengukuran luas gelembung pada hambatan 6,67 k Ω

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1	0,195	0,193	0,196	0,195	0,195	0,195
2	0,115	0,115	0,116	0,113	0,115	0,115
3	0,017	0,017	0,017	0,018	0,018	0,017

Tabel 3. 13. Jarak gelembung pada hambatan 6,67 k Ω

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm)
1 – 2	1,267	1,2697	1,265	1,268	1,268	1,267
2 – 3	1,555	1,557	1,555	1,557	1,556	1,555
1 – 3	0,381	0,382	0,38	0,383	0,381	0,381

Pada nilai hambatan 6,67 k Ω , sensor Power Logger mencatat arus sebesar 0,465 A dan tegangan 7,189 V. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,109 cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 1,067 cm.



Gambar 3. 9. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

7. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 7,50 k Ω

Tabel 3. 14. Pengukuran luas gelembung pada hambatan 7,50 k Ω

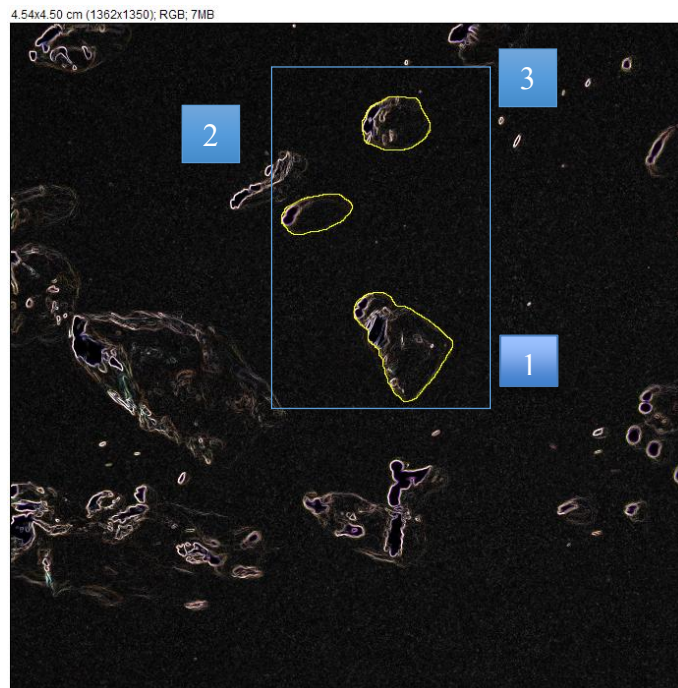
Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1	0,265	0,265	0,265	0,265	0,265	0,265
2	0,09	0,092	0,091	0,09	0,09	0,09
3	0,133	0,13	0,133	0,133	0,133	0,133

Tabel 3. 15. Jarak gelembung pada hambatan 7,50 k Ω

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm)
1 – 2	0,647	0,648	0,646	0,648	0,647	0,647
2 – 3	0,466	0,467	0,465	0,464	0,466	0,466

1 – 3	0,967	0,965	0,968	0,966	0,969	0,967
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Pada nilai hambatan $7.5\text{ k}\Omega$, sensor *power logger* mencatat arus sebesar $0,375\text{ A}$ dan tegangan $5,981\text{ V}$. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran $0,162\text{ cm}^2$, sementara jarak rerata antar gelembung ialah $0,693\text{ cm}$.



Gambar 3. 10 Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

8. Karakteristik Gelembung pada Hambatan $8,33\text{ k}\Omega$.

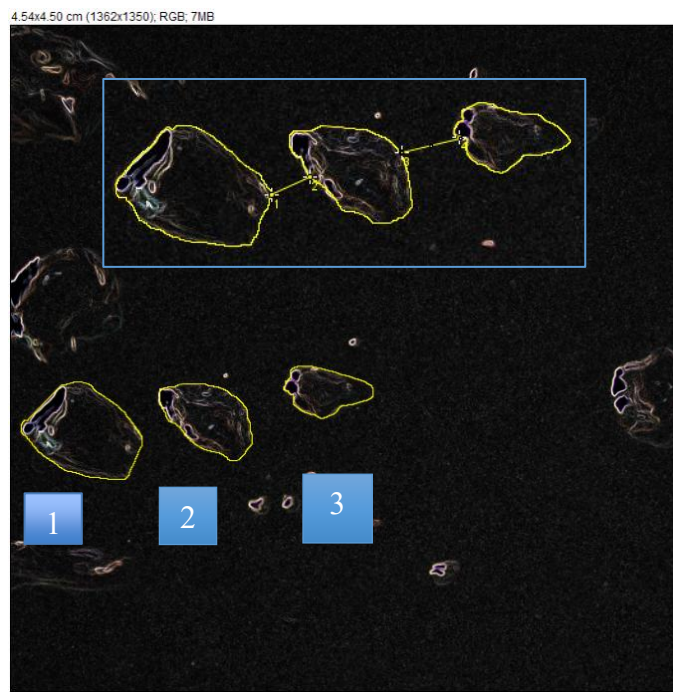
Tabel 3. 16. Pengukuran luas gelembung pada hambatan $8,33\text{ k}\Omega$.

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm^2)
1	0,336	0,34	0,336	0,336	0,345	0,336
2	0,22	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217
3	0,137	0,134	0,134	0,134	0,134	0,134

Tabel 3. 17. Jarak gelembung pada hambatan 8,33 k Ω .

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1 – 2	0,222	0,223	0,221	0,222	0,224	0,222
2 – 3	0,315	0,316	0,314	0,315	0,317	0,315
2 – 3	0,315	0,314	0,316	0,315	0,313	0,315

Pada nilai hambatan 8,33 k Ω , sensor *power logger* mencatat arus sebesar 0,304 A dan tegangan 4,874 V. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,229 cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 0,284 cm.



Gambar 3. 11. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

9. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 9,17 k Ω

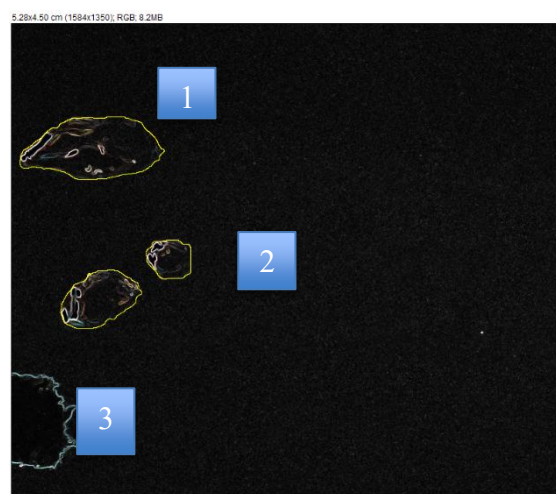
Tabel 3. 18. Pengukuran luas gelembung pada hambatan 9,17 k Ω .

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1	0,582	0,581	0,586	0,584	0,584	0,584
2	0,124	0,128	0,127	0,123	0,124	0,124
3	0,282	0,285	0,282	0,284	0,283	0,282

Tabel 3. 19. Jarak gelembung pada hambatan 9,17 k Ω .

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm)
1 – 2	0,681	0,681	0,68	0,682	0,679	0,681
2 – 3	0,461	0,46	0,462	0,463	0,461	0,461
1 – 3	0,914	0,913	0,915	0,912	0,914	0,914

Pada nilai hambatan 9,17 k Ω , sensor *power logger* mencatat arus sebesar 0,274 A dan tegangan 4,170 V. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,33 cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 0,685 cm.



Gambar 3. 12. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

10. Karakteristik Gelembung pada Hambatan 10,0 k Ω .

Tabel 3. 20. Jarak gelembung pada hambatan 10,0 k Ω

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm ²)
1	0,122	0,124	0,123	0,124	0,124	0,124
2	0,234	0,231	0,232	0,234	0,233	0,234
3	0,320	0,319	0,321	0,322	0,322	0,322

Tabel 3. 21. Pengukuran luas gelembung pada hambatan 10,0 k Ω .

Gelembung	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	Hasil Pengukuran (cm)
1 – 2	1,682	1,68	1,682	1,681	1,683	1,682
2 – 3	1,337	1,335	1,336	1,338	1,337	1,337
1 – 3	2,793	2,791	2,793	2,792	2,794	2,793

Pada nilai hambatan 10,0 k Ω , sensor *power logger* mencatat arus sebesar 0,234 A dan tegangan 3,56 V. Menghasilkan gelembung dengan luas rata-rata berukuran 0,226 cm², sementara jarak rerata antar gelembung ialah 1,937 cm.



Gambar 3. 22. Hasil pengukuran gelembung pada aplikasi ImageJ

4. PENUTUP

Berdasarkan analisa data dan pembahasan hasil pengujian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa nilai pengukuran power logger dibandingkan dengan alat ukur referensi memiliki performa yang cukup baik secara fungsional. Pada pengukuran voltase, nilai akurasi berada seluruhnya di atas 97%, dengan rata-rata ketidakpastian hanya sekitar 0,1 V. Pada pengukuran arus, semua nilai akurasi berada di atas 94%, dengan sebagian besar mendekati atau lebih dari 98%, dengan rata-rata ketidakpastian hanya 0,00789 A.
2. Pembacaan power logger menjadi lebih akurat. Nilai rata-rata akurasi pengukuran voltase power logger menjadi 99,70% dengan nilai rerata ketidakpastian sebesar 0,0188 volt. Sementara pada pengukuran arus oleh power logger, nilai rata-rata akurasi pengukuran mengalami peningkatan menjadi 98,21%, dengan rerata nilai ketidakpastian sebesar 0,00733 A.

3. Merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh (Gordiychuk et al., 2016), hambatan sebesar 5.83 k Ω dapat direkomendasikan sebagai kondisi optimal dalam konteks efisiensi mikro-turbulensi. Sebaliknya, berdasar pada (Kipping et al., 2022), hambatan yang terlalu tinggi seperti 10 k Ω tidak disarankan dalam konteks efisiensi mikro-turbulensi

5. DAFTAR PUSAKA

- Al Mamun, M. R. (2018). Experimental study on performance characteristics of a small centrifugal pump. **International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9*(2), 1005–1010. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/323336640> [Accessed 26 May 2025].
- Arifa, A., & Harjunowibowo, D. (2022). Teknik Kalibrasi dan Validasi Power Logger IoT untuk Arus DC. Klaten: Penerbit Lakheisa.
- B. C. Kuo. (1995). **Teknik Kontrol Automatik**. Jogjakarta: Aditya Media.
- Clift, R., Grace, J. R., & Weber, M. E. (2005). **Bubbles, drops, and particles**. Dover Publications.
- Cui, J. L., Wang, J. J., & Wang, Z. D. (2020). An experimental study on the heat transfer by a single bubble wake rising near a vertical heated wall. **International Journal of Heat and Mass Transfer*, 163*, Article 120464.
- Ezzat, A. W., Najdat, N. A., & Lafta, S. (2016). Heat Transfer Enhancement in vertical Mounted Tube Subjected to Uniform Heat Flux by using Electrolysis Bubble. **International Journal of Computer Applications*, 142*(12), 1–7.
- Gordiychuk, A., Svanera, M., Benini, S., & Poesio, P. (2016). Size distribution and Sauter mean diameter of micro bubbles for a Venturi type bubble generator. **Chemical Engineering Science*, 275*, 118643. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009250923001920> [Accessed 26 May 2025].
- Hadi Wibowo, A., Farid, A., & Mustaqim. (2016). Peningkatan Kadar Oksigen Dalam Air dengan Penggunaan Aerator. **Jurnal ITEKS*, 8*(1).
- Hartini, E. (2012). Cascade Aerator dan Bubble Aerator dalam Menurunkan Kadar Mangan Air Sumur Gali. **Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8*(1), 44–52.
- Haryanto, E. (2005). Pengaruh Bentuk Difuser Terhadap Transfer Oksigen. **Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 2*(1), 33–46.
- Huang, J., Sun, L., Du, M., Liang, Z., Mo, Z., Tang, J., & Xie, G. (2020). An investigation on the performance of a micro-scale Venturi bubble generator.

Chemical Engineering Science, 275, 118645.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0009250923001944>
[Accessed 26 May 2025].

Karina, N. A., & Subbiah, A. (2024). Development of smart greenhouse farming based on Internet of Things. *International Journal of Science & Technology Management, 5*(4), 1–10. <https://doi.org/10.46729/ijstm.v5i4.1119> [Accessed 26 May 2025].

Kim, Y. I., Jang, K., Park, C., An, S., Yarin, A. L., & Yoon, S. S. (2021). Enhanced cooling of high-power microelectronics with swing-like pool boiling. *International Communications in Heat and Mass Transfer, 125*, 105338. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105338>

Kipping, R., Wagner, M., & Hampel, U. (2021). On inter-bubble distances and bubble clustering in bubbly flows: An experimental study. *Chemical Engineering Journal, 431*, 133486. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133486> [Accessed 26 May 2025].

Marwan Effendy, S. T., M. T., Ph.D. (2019). *Pengetahuan Dasar Sistem Kendali*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.

Nichele, L., Persichetti, V., Lucidi, M., & Cincotti, G. (2020). Quantitative evaluation of ImageJ thresholding algorithms for microbial cell counting. *Journal of Microscopy and Ultrastructure, 4*(2), 91–95.

Panduradi, F., & Haq, E. S. (2016). Wireless Smart Home System Menggunakan Raspberry Pi. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Terapan, 3*(1), 320–325.

Patty, S. I. (2018). Oksigen Terlarut dan Apparent Oxygen Utilization di Perairan Selat Lembeh, Sulawesi Utara. <http://lipi.go.id/publikasi/21573>

Pratama, A., & Sumaryo. (2021). Real time data logger untuk kWh meter digital tiga fasa berbasis Internet of Things (IoT) dan cloud storage. *Telkatika, 1*(1), Desember.

Risso, F. (2018). Bubble-induced turbulence. *Annual Review of Fluid Mechanics, 50*(1), 25–48.

Yuliantari, R. V., Novianto, D., Hartono, M. A., & Widodo, T. R. (2021). Pengukuran Kejenuhan Oksigen Terlarut pada Air menggunakan Dissolved Oxygen Sensor. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, 18*(2), 101. <https://doi.org/10.20527/flux.v18i2.9997>

Çakmak, R. (2023). Design and implementation of a low-cost power logger device for specific demand profile analysis in demand-side management studies for smart grids. *Expert Systems with Applications, 229*, 121888. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121888> [Accessed 26 May 2025].