

# Rancang Bangun Sistem Transfer *Liquid* Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor YF-S401

Dimas Alfariizky Ilham<sup>1</sup>, Abdurrahman Hamid Al-Azhari<sup>2</sup>, Djuniadi Djuniadi<sup>3</sup>

Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang, Semarang

Jl. Sekaran Raya Sekaran 50225

<sup>1</sup>dalfarizkyilham@students.unnes.ac.id

<sup>2</sup>abdurrahmanhamid@mail.unnes.ac.id

<sup>3</sup>djuniadi@mail.unnes.ac.id

**Intisari** — artikel ini membahas perancangan sistem transfer liquid menggunakan flow sensor YF-S401 dan penilaian berbagai faktor kalibrasi untuk menciptakan sistem yang handal. Metode penelitian mencakup pengukuran aliran air, pemilihan komponen sistem, desain sistem, dan alur kerja. Hasil penelitian memperlihatkan faktor kalibrasi 50 sebagai pilihan optimal yang menunjukkan presisi transfer cairan yang baik pada skala 100 ml. Namun, pengujian pada skala 200 ml dan 300 ml menunjukkan performa yang kurang optimal, terutama dalam mempertahankan presisi transfer cairan. Pengembangan lebih lanjut dapat direkomendasikan pada pemilihan komponen yang lebih handal, perbaikan program arduino uno, dan penerapan teknologi seperti real time operating sistem (RTOS) untuk meningkatkan akurasi sistem transfer liquid pada skala yang lebih besar. Dalam keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan penting untuk pengembangan sistem transfer liquid otomatis dengan fokus pada presisi dalam berbagai skala pengukuran.

**Kata kunci** — Sistem transfer liquid, Flow sensor, Faktor kalibrasi, Pengukuran aliran air, Arduino uno

**Abstract** — This article discusses the design of a liquid transfer system using a YF-S401 flow sensor and the evaluation of various calibration factors to create a reliable system. The research methods included water flow measurement, system component selection, system design, and workflow. The research results showed that a calibration factor of 50 was the optimal choice, showing good liquid transfer precision at a scale of 100 ml. However, testing at a scale of 200 ml and 300 ml showed suboptimal performance, especially in maintaining liquid transfer precision. Further development recommended in the selection of more reliable components, the improvement of the Arduino Uno program, and the implementation of technologies such as real time operating system (RTOS) to improve the accuracy of the liquid transfer system at larger scales. Overall, this research provides important insights for the development of automatic liquid transfer systems with a focus on precision in various measurement scales.

**Keywords** — Liquid transfer system, Flow sensor, Calibration factor, Water flow measurement, Arduino Uno

## I. PENDAHULUAN

Era revolusi industri 4.0 telah menandai penggunaan konsep otomasi yang meluas di berbagai sektor, seperti sektor manufaktur [1], agricultural [2], transportasi [3], kesehatan [4], hingga pendidikan [5]. Penggunaan inovasi mencakup teknologi mesin, informasi, dan sistem kontrol membuat otomasi dapat mengoptimalkan proses produksi dan distribusi barang maupun jasa [6]. Oleh karena itu, otomasi memiliki keuntungan dengan hasil kuantitas dan/atau kualitas jauh lebih cepat dan baik dari pekerjaan manual atau tenaga manusia [7].

Disisi lain, kemunculan dan penawaran dari otomasi menjadikannya sebagai elemen

sentral di bidang industri yang saat ini [8]. Aspek-aspek seperti kemajuan teknologi, peningkatan kualitas produk, penekanan efisiensi biaya, penyesuaian dinamika pasar dan perubahan model bisnis telah secara substansial memperkuat pentingnya otomasi dalam lingkup industri modern [9]. Di samping kebutuhan industri terhadap otomasi, perencanaan dan pemeliharaan yang baik sangat diperlukan untuk menghindari sistem otomatis mengakibatkan permasalahan seperti salah satunya pemborosan produksi khususnya industri yang menggunakan sumber daya alam sebagai bahan baku [10].

Dalam pandangan keberlanjutan pengelolaan sumber daya alam, otomasi dapat memegang peranan krusial terhadap

keberlangsungan industri melalui proses produksinya [11]. Berdasarkan laporan *World Energy Outlook 2023* yang diterbitkan oleh *International Energy Assosiation* (IAE) menyebutkan bahwa terjadi pemborosan energi sekitar 30% di dunia per tahun yang salah satunya disebabkan oleh penggunaan peralatan yang tidak efisien [12]. Sumber daya alam terbatas yang juga menghasilkan energi terbatas akan mengakibatkan kerugian kepada produsen, konsumen dan lingkungan apabila dikelola secara inefisiensi [13,14]. Oleh karena itu, industri harus diperkaya dengan inovasi sistem otomatis yang mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan tetapi tetap menjaga produktivitas secara holistik.

Industri khususnya yang bergerak dibidang produksi memerlukan lebih banyak mesin otomatis dibandingkan industri lainnya [15]. Salah satu mesin yang digunakan pada industri jenis ini adalah mesin pengisian cairan. Di era modern ini, pengembangan pada sistem pengisian cairan sudah banyak mengalami perkembangan baik pada implemendasi langsung pada industri maupun berupa prototype. Penelitian [16], PLC digunakan sebagai pengendali dimana pendekatan waktu pengisian berfungsi sebagai tolak ukur utama dalam mengisi cairan pada segala variasi botol. Meskipun memiliki sistem yang kompleks, sistem akan bekerja sempurna apabila memiliki referensi data pada botol yang harus diisi. Di sisi lain, penggunaan mikrokontroller sebagai penunjang pengembangan prototype telah banyak memberikan hasil yang memuaskan seperti pada [17–19]. Salah satunya adalah pada penelitian [20] digunakan pengendali mikrokontroller arduino uno pada sistem pengisian cairan dan bekerja secara baik dengan perancangan yang lebih murah dan efisien. Meskipun demikian, penelitian tersebut tidak menjelaskan secara langsung terkait keakuratan pengisian cairannya. Penelitian [21] menunjukan penggunaan lengan robot yang dibantu menggunakan sensor ultrasonic memiliki keakuratan yang tinggi. Namun penggunaan lengan robot memiliki jumlah pengeluaran biaya yang relatif mahal. Penelitian [22] sistem water depot cairan yang diukur menggunakan sensor

aliran (flow sensor) sensor memiliki tingkat akurasi yang baik meskipun pada setiap pengujian terdapat *error* pada pembacaan sensor. Dari beberapa literatur tersebut, perancangan sistem transfer liquid menggunakan arduino uno yang juga menggunakan flow sensor sebagai sensor pengukuran kecepatan aliran air memiliki banyak keunggulan sehingga layak untuk dikembangkan.

Artikel ini akan membahas mengenai usulan perancangan sistem transfer liquid sederhana menggunakan flow sensor YF-S401 dengan pengujian berbagai nilai faktor kalibrasi untuk menciptakan sistem yang handal. Sistem transfer liquid yang diusulkan pada artikel ini diharap dapat meminimalisasi pemborosan bahan baku menggunakan sistem otomatis.

Artikel ini terbagi menjadi beberapa bagian yakni bagian kedua menjelaskan tentang desain dan metode yang digunakan pada sistem transfer liquid meliputi pengukuran, komponen dan prinsip kerja. Bagian ketiga menjelaskan tentang hasil pengujian dan pembahasan mengenai perbandingan hasil sistem dengan alat ukur. Dan bagian ke empat meliputi kesimpulan yang memberikan rangkuman terkait isi dari artikel ini.

## II. DESAIN DAN METODE

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi hasil sistem transfer liquid yang dibangun. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk merancang sistem transfer liquid terdiri dari beberapa sub bab yakni pengukuran tingkat aliran air, komponen sistem, desain sistem, dan alur kerja.

### A. Pengukuran tingkat aliran air

Sistem transfer liquid dalam melakukan pengukuran didasari oleh penerapan rumus matematis fisika fluida [23]. Dalam konsep dasar fisika fluida debit aliran cairan ( $f_r$ ) dalam satuan ml/s berbanding lurus dengan volume yang terisi oleh cairan ( $v$ ) dalam satuan ml dan berbanding terbalik dengan waktu yang dibutuhkan untuk selama proses transfer cairan suatu wadah oleh cairan ( $t$ )

dengan satuan second. Dalam hal ini, (1) merepresentasikan rumus aliran cairan yang digunakan pada sistem ini.

$$f_r = \frac{v}{t} \quad (1)$$

Dari sisi mikrokontroller, penggunaan sensor seperti sensor aliran (flow sensor) dapat menjadi usulan yang tepat dalam merancang sistem transfer liquid. Meskipun sensor ini memberikan nilai pulsa listrik dan bukan nilai tingkat aliran air, pulsa tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pengganti pengukuran volume pada (1). Hal ini dikarenakan pulsa yang dihasilkan sensor mewakili setiap perubahan yang terjadi dalam lingkup waktu dan area sensor [24]. Pulsa tersebut sesuai dengan keadaan volume yang bersifat dinamis baik dari segi waktu dan banyaknya cairan pada suatu wadah. Oleh karena itu, perubahan persamaan tingkat aliran air (1) dapat diperbarui pada (2).

$$f_r = \left( \frac{1000}{(mt_1 - mt_2)} \right) \times P_c \quad (2)$$

Mikrokontroller bekerja pada domain waktu millisecond sehingga pemilihan waktu 1000 millisecond digunakan untuk membantu konversi ke satuan second. Waktu yang digunakan untuk melakukan transfer cairan pada wadah dapat diukur menggunakan selisih waktu awal sistem memulai tugas ( $mt_1$ ) dengan waktu sistem menyelesaikan tugas ( $mt_2$ ) dengan satuan millisecond. Hasil waktu yang dibutuhkan oleh sistem menyelesaikan transfer cairan akan dikalikan dengan pulsa yang dihitung dari flow sensor ( $P_c$ ) sehingga akan merepresentasikan tingkat aliran cairan.

Namun, karakteristik dari flow sensor akan menghasilkan komputasi pulsa yang berbeda-beda bergantung pada kondisi lingkungan sensor tersebut bekerja. Penggunaan faktor kalibrasi ( $cf$ ) telah dinilai menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut [25]. Selain itu memakai faktor kalibrasi akan membuat sistem memiliki konsistensi pengukuran dan memperbaiki respon sensor. Hal tersebut membuat sistem dapat diterapkan di kondisi lingkungan yang universal. Penggabungan (2) dengan faktor kalibrasi dapat didefinisikan pada (3).

$$f_r = \left( \left( \frac{1000}{(mt_1 - mt_2)} \right) \times P_c \right) \times cf \quad (3)$$

Pengukuran tingkat cairan yang sudah terisi atau volume dapat dilakukan dengan menggunakan nilai yang didapat dari (3) yang selanjutnya digunakan pada (1). Karena nilai tingkat aliran air dan waktu sudah diketahui maka pengukuran volume dalam satuan ml dapat dilakukan dengan persamaan yang didefinisikan pada (4).

$$v = f_r \times t \quad (4)$$

### B. Komponen sistem

Sistem tranfer liquid memerlukan beberapa kategori komponen seperti mikrokontroller, flow sensor, perangkat monitoring, perangkat pompa air dan perangkat input nilai volume cairan yang ingin dipindahkan. Komponen-komponen tersebut dipilih dengan rincian sebagai berikut.

#### 1) Arduino Uno

Penelitian ini menggunakan mikrokontroller berjenis arduino uno ATMEGA328P CH340. Arduino uno memiliki kelebihan mudah secara penggunaan dan fleksibel dalam banyak proyek seperti robot, elektronika, seni, dan pendidikan. Selain itu harga yang terjangkau yang juga sebanding dengan jumlah fungsi pin yang diberikan sehingga arduino uno dinilai cocok digunakan untuk sistem transfer liquid.

#### 2) Flow Sensor



Gbr. 1 Flow sensor YF-S401

Penelitian ini menggunakan flow sensor berjenis YF-S401 sebagai perangkat pengukuran tingkat aliran air pada sistem. Flow sensor jenis ini memiliki ketelitian ukur 0,5 ml/s hingga 10 ml/s.

Ketelitian tersebut dinilai cukup mengingat Water Pump yang digunakan akan memiliki kecepatan debit air dibawah 10 ml/s.

### 3) LCD I2C Display 16x2

Penggunaan LCD display 16x2 pada penelitian ini digunakan sesuai peran pada umumnya yakni perangkat untuk melakukan monitoring terhadap kinerja sistem transfer liquid.

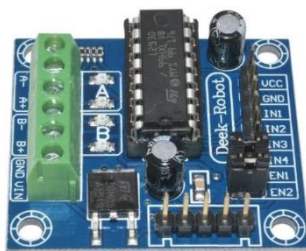
### 4) Mini DC Water Pump



Gbr. 2 Mini DC water pump

Mini DC water pump digunakan pada sistem transfer liquid ini sebagai perangkat pompa air untuk memindahkan air dari wadah A ke wadah B. Water pump ini beroperasi pada tegangan 3-5 volt yang dihubungkan dengan sumber tegangan utama yang berasal dari mikrokontroller. Selain itu water pump ini mampu memompa air dengan debit aliran air 3,33 ml/s.

### 5) Motor Driver L239D



Gbr. 3 Motor Driver L239D dual H bridge

Motor driver L239D adalah komponen untuk mengatur kontrol motor DC dan hampir dapat bekerja diberbagai macam jenis motor DC termasuk water pump. Motor driver ini berperan dalam mencegah gangguan elektromagnetik pada mikrokontroller saat water pump dc bekerja. Umumnya hal ini dapat diatasi dengan pemberian kapasitor sebagai filter.

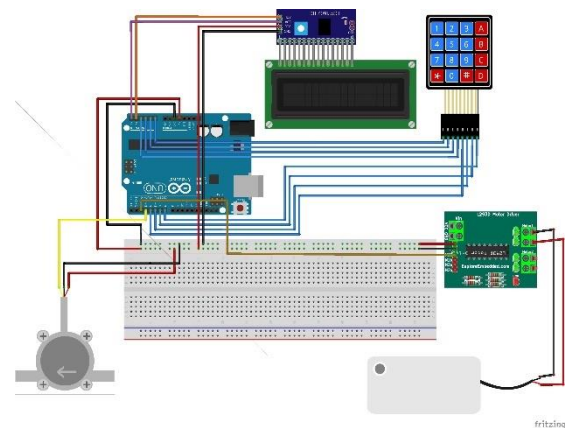
Namun, karakteristik impedansi input yang lebih rendah membuat motor driver lebih efektif dalam mengurangi gangguan elektromagnetik.

### 6) Keypad 4x4

Keypad 4x4 berfungsi sebagai perangkat input dalam menetapkan volume cairan yang ingin dipindahkan. Keypad juga memiliki fungsi pada sistem ini yakni men-trigger eksekusi tugas pemindahan cairan dan dapat digunakan untuk pemanggilan tugas kembali.

### C. Desain Sistem

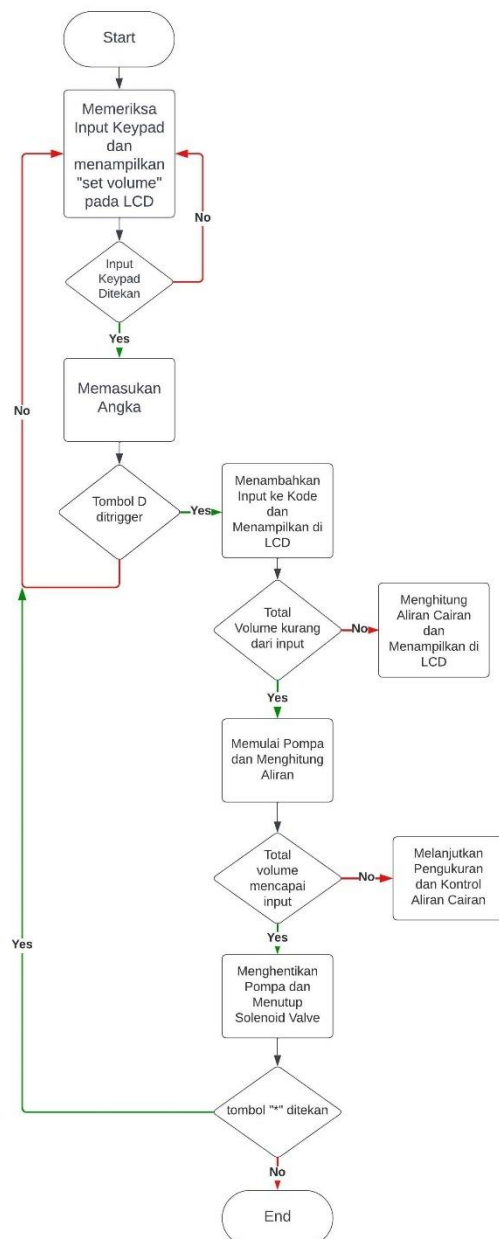
Sistem transfer liquid pada penelitian ini didesain dengan rangkaian seperti berikut. Pin sensor dihubungkan pada pin 2 arduino. Pin. Pin 3 arduino dihubungkan ke pin input dari motor driver. Lcd display dihubungkan ke pin A4 dan A5 sebagai pin komunikasi I2C. Keypad pada sistem ini mengambil 8 pin yang terdiri dari pin 4,5,6, dan 7 sebagai pin kolom. Sedangkan pin A0, A1, A2, dan A3 digunakan sebagai pin baris. Gbr 4 merupakan desain dari sistem transfer liquid yang diusulkan.



Gbr. 4 Desain usulan sistem transfer liquid

### D. Alur Kerja

Alur kerja dari sistem transfer liquid dapat dilihat pada diagram alir seperti yang tersusun pada Gbr 5.



Gbr. 5 Diagram alir sistem transfer liquid

Program mikrokontroller pada sistem transfer liquid ini menggunakan software Arduino IDE dengan rancangan program seperti yang direpresentasikan pada Pseudo code berikut.

Sistem diawali dengan menampilkan pengaturan volume pada lcd. Keypad dapat digunakan pada kondisi ini untuk memasukan input volume yang diinginkan pengguna. Setelah pengguna selesai memasukan input volume yang juga ditampilkan pada lcd,

selanjutnya pengguna dapat menekan tombol “D” pada keypad untuk men-trigger proses transfer cairan.

### Algoritma 1: sistem transfer liquid

```

1. Code = karakter keypad
2. V = Volume
3. WP = water pump
4. Tml = Total Millilitres
5. fr = Flowrate
6. fml = flowMilliLitres
7. mt1 = waktu awal sistem memulai tugas
8. mt2 = waktu sistem menyelesaikan tugas
9. pc = perhitungan pulsa
10. cf = faktor kalibrasi
11. Bool menerima input = true
12. Bool Program selesai = false
13.
14. Void Setup():
15.     Inisialisasi komponen dan pin
16.
17. Void Loop():
18.     Jika input keypad diterima:
19.         Lcd print code
20.         Jika tombol 'D' ditekan:
21.             V = code
22.             Menerima input false
23.         Lainnya:
24.             Lcd clear
25.             Menyimpan nilai V
26.
27.     Lainnya:
28.         Program selesai true
29.         WP High
30.         Jika Tml < V:
31.             
$$fr = \left( \frac{1000}{(mt_1 - mt_2)} \right) \times P_c \times cf$$

32.             
$$fml = (fr / 60 \text{ second}) \times 1000$$

33.             Tml += fml
34.
35.             Lcd print fr
36.             Lcd print fml
37.             Lcd print tml
38.
39.         Jika Tml == V:
40.             WP Low
41.             Program selesai false
42.
43.         Lainnya:
44.             Jika tombol '*+' ditekan:
45.                 Membersihkan Tml
46.                 Membersihkan lcd
47.                 Menerima input true
  
```

Setelah arduino uno di-trigger, nilai volume yang dimasukan akan dikonversi menjadi integer untuk pengolahan digital. Di waktu yang sama, water pump dijalankan untuk memindahkan cairan dari wadah A dan sensor mulai mendeteksi perubahan pulsa yang terjadi. Lcd juga menampilkan data kecepatan aliran cairan yang diperoleh dari (3) dan data

volume cairan yang sudah terisi pada wadah B. proses ini akan terus berlanjut hingga sistem sudah mencapai set point atau volume yang diatur pengguna.

Saat volume sudah mencapai set point, arduino uno akan menghentikan kerja dari water pump. Setelah water pump berhenti pengguna dapat menekan tombol "\*" pada keypad untuk kembali ke tahap awal yakni memasukkan nilai volume oleh pengguna.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini terbagi dalam dua tahapan. Tahapan pertama adalah menentukan usulan sistem transfer liquid yang paling optimal berdasarkan akurasi cairan yang ditransfer. Sedangkan tahapan kedua adalah menguji sistem transfer liquid yang diusulkan pada beberapa skala pengukuran di luar tahap pertama.

#### A. Sistem Transfer Liquid Usulan

Sistem transfer liquid sudah melalui proses perangkaian antar komponen dan juga memasukkan program utama pada arduino uno

melalui software Arduino IDE. komponen flow sensor belum beradaptasi pada lingkungan sistem sehingga perlu dilakukan kalibrasi pada tahapan ini. Kalibrasi dilakukan menggunakan pendekatan *trial and error* dengan 7 nilai faktor kalibrasi yakni kelipatan 10 yang dimulai dari 10 hingga 70. Setiap nilai faktor kalibrasi diujikan sebanyak 5 kali percobaan dengan tujuan memindahkan 100 ml cairan air dari wadah awal ke wadah lainnya untuk menunjukkan karakteristik dari masing-masing nilai faktor.

Pengujian ini menggunakan gelas ukur dengan skala kelipatan 50 ml yang dimulai dari 0-500 ml yang diletakkan pada wadah yang berisi air atau wadah A dan wadah yang belum terisi air atau wadah B. Tabel 1 merupakan hasil pengujian penentuan nilai faktor kalibrasi terhadap keadaan asli volume cairan gelas ukur (x). Tabel 2 merupakan hasil pengujian kecepatan rata-rata aliran cairan pada lcd (ml/s) pada masing-masing nilai faktor kalibrasi. Tabel 3 merupakan hasil pengujian nilai volume yang sudah terisi pada layar lcd (ml) pada masing-masing nilai faktor kalibrasi.

Tabel 1. hasil pengujian penentuan nilai faktor kalibrasi terhadap keadaan asli volume cairan gelas ukur (x)

uji	Nilai Faktor Kalibrasi						
	10	20	30	40	50	60	70
1	$0 < x < 50$	$0 < x < 50$	50	$50 < x < 100$	100	100	$100 < x < 150$
2	$0 < x < 50$	$0 < x < 50$	50	100	100	$100 < x < 150$	$100 < x < 150$
3	$0 < x < 50$	$0 < x < 50$	50	$50 < x < 100$	$50 < x < 100$	100	$100 < x < 150$
4	$0 < x < 50$	$0 < x < 50$	50	$50 < x < 100$	100	$100 < x < 150$	$100 < x < 150$
5	$0 < x < 50$	$0 < x < 50$	50	$50 < x < 100$	$50 < x < 100$	$100 < x < 150$	$100 < x < 150$

Tabel 2. hasil pengujian kecepatan rata-rata aliran cairan pada lcd (ml/s) pada masing-masing nilai faktor kalibrasi

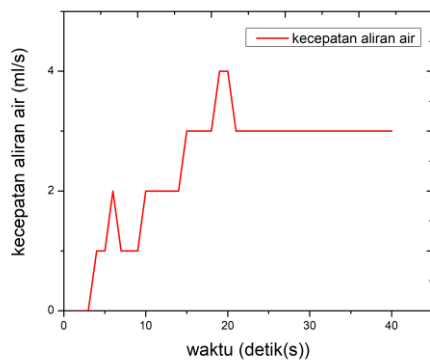
uji	Nilai Faktor Kalibrasi						
	10	20	30	40	50	60	70
1	24	9	6	4	4	3	3
2	19	9	6	5	3	3	3
3	21	9	6	5	4	3	3
4	21	7	6	5	3	3	3
5	18	7	7	4	4	3	3

Tabel 3. hasil pengujian nilai volume yang sudah terisi pada layar lcd (ml) pada masing-masing nilai faktor kalibrasi

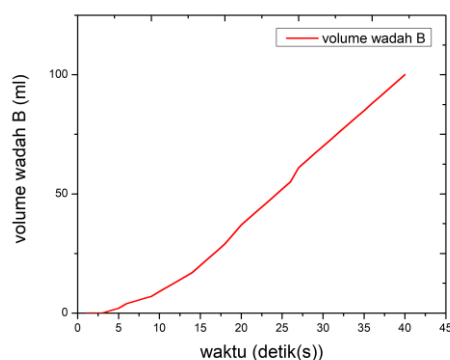
uji	Nilai Faktor Kalibrasi						
	10	20	30	40	50	60	70
1	122	105	102	103	100	102	100
2	110	107	105	103	101	102	101
3	119	101	103	100	102	100	101
4	101	104	103	101	100	101	100
5	110	103	102	103	101	101	101



Hasil pengujian faktor kalibrasi didapatkan hasil berupa nilai 50 yang merupakan faktor kalibrasi paling optimal diantara 6 nilai lainnya. Hal ini ditunjukkan dari pengujian tabel 1 bahwa nilai 50 memiliki tingkat presisi transfer cairan air yang tepat sebanyak 3 kali percobaan dari total 5 percobaan. Sedangkan nilai faktor kalibrasi lainnya menghasilkan proses transfer yang tidak sempurna yakni berlebihan atau kekurangan cairan pada wadah B. Selain itu, perhitungan waktu rata-rata yang dibutuhkan water pump untuk memindahkan 100 ml cairan air adalah 40 detik yang berarti secara matematis kecepatan aliran air adalah 2,63 ml/s. Apabila hasil pengujian ditinjau kembali maka dapat dilihat bahwa nilai faktor kalibrasi 50 menampilkan kecepatan rata-rata aliran air yang hampir mendekati perhitungan matematis yaitu 2,42 ml/s. Dari kedua hasil tersebut, sistem transfer liquid dapat diusulkan dengan pendekatan faktor kalibrasi flow sensor bernilai 50. Gbr. 6 dan 7 merupakan grafik dari karakteristik kecepatan aliran cairan air dan grafik tingkat volume transfer cairan pada wadah B dengan pengujian transfer 100 ml.



Gbr. 6 grafik kecepatan aliran cairan air pada sistem transfer liquid usulan



Gbr. 7 tingkat volume transfer cairan pada wadah B

### B. Pengujian Sistem pada Skala Ukuran Lain

Setelah mendapatkan sistem transfer liquid yang diusulkan, sistem tersebut belum benar-benar valid dapat digunakan untuk pengukuran. Hal tersebut dikarenakan pengujian dilakukan pada satu skala saja yakni 100 ml. Untuk dapat menjadikan sistem transfer liquid yang benar-benar handal, perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dengan mengujinya pada skala ukur lain. Sistem diujikan pada 2 nilai skala ukur yang tertera pada gelas ukur yakni 200 ml dan 300 ml. Sama seperti pengujian sebelumnya, pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali percobaan dengan membandingkan hasil kerja sistem dengan keadaan asli gelas ukur. Tabel 4 merupakan hasil percobaan transfer volume cairan pada wadah B oleh sistem transfer liquid usulan. Tabel 5 merupakan hasil percobaan sistem transfer liquid terhadap keadaan nyata volume cairan gelas ukur.

Table 4. hasil percobaan transfer volume cairan pada wadah B oleh sistem transfer liquid usulan

uji	Volume Pengujian		
	100	200	300
1	100	200	301
2	100	201	300
3	100	200	300
4	102	200	300

Table 5. hasil percobaan sistem transfer liquid terhadap keadaan nyata volume cairan gelas ukur (x)

uji	Volume Pengujian		
	100	200	300
1	100	200	300
2	100	$200 < x < 250$	$300 < x < 350$
3	100	200	300
4	$100 < x < 150$	$150 < x < 200$	300
5	100	$150 < x < 200$	$250 < x < 300$

Dari tabel 4 dan 5, sistem transfer liquid yang diusulkan dapat dievaluasi karakteristik dari kinerjanya. Sistem yang diusulkan dinilai kurang optimal dalam melakukan transfer liquid di luar skala 100 ml. terlihat bahwa skala 200 ml memiliki karakteristik tingkat presisi yang kurang atau tidak konsisten. Hal ini dilihat dari hasil pengujian 2 yang melebihi set point sedangkan pada pengujian 4 dan 5 terlihat hasil pengujian dibawah set point.

Pengujian skala 300 ml menunjukkan hasil yang lebih baik dari skala 200 ml akan tetapi memiliki permasalahan yang sama seperti sebelumnya meskipun tidak banyak.

Secara keseluruhan sistem transfer liquid yang diusulkan belum memenuhi standar yang diharapkan yakni sedikitnya *error* yang terjadi seperti pada skala pengujian 100 ml. oleh karena itu, sistem ini belum dapat mengatasi permasalahan utama pada artikel ini yakni meminimalisasi pemborosan bahan baku menggunakan sistem otomatis. hal tersebut dapat terjadi dikarenakan beberapa faktor seperti karakteristik water pump yang tidak cocok bekerja dalam waktu yang relatif lama sehingga mengalami degradasi. Selain itu, permasalahan pada program yang tidak dapat mengantisipasi kecepatan aliran cairan bernilai 0 ml/s. hal ini mengakibatkan sistem akan terus mengisi wadah tetapi volume yang dicatat oleh arduino uno tidak berubah atau statis.

Beberapa pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan pada penelitian mendatang untuk mengatasi permasalahan pada penelitian ini. beberapa diantaranya seperti pemilihan komponen yang lebih handal dan cocok dengan karakteristik sistem. Selain itu pengembangan di bidang program arduino uno seperti logika untuk mengatasi permasalahan kecepatan aliran 0. Pengembangan menggunakan real time operating system (RTOS) dinilai sangat menjanjikan untuk menghasilkan perhitungan yang lebih akurat.

#### IV. KESIMPULAN

Analisis sistem transfer liquid pada skala berbeda menunjukkan bahwa faktor kalibrasi 50 memberikan tingkat presisi yang optimal pada skala 100 ml. meskipun demikian, evaluasi terhadap skala 200 ml dan 300 ml mengungkapkan bahwa sistem belum memenuhi standar yang diharapkan yang menyebabkan tingkat presisi yang buruk. Kendala terkait karakteristik komponen dan program menyebabkan kinerja sistem tidak mencapai performa maksimalnya. Hal ini mengindikasikan perlunya pengembangan lebih lanjut untuk memperbaiki presisi transfer pada skala yang lebih besar.

#### REFERENSI

- [1] Castagnoli R, Büchi G, Coeurderoy R, Cugno M. *Evolution of industry 4.0 and international business: A systematic literature review and a research agenda*. European Management Journal 2022;40:572–89. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2021.09.002>.
- [2] Lele U, Goswami S. *The fourth industrial revolution, agricultural and rural innovation, and implications for public policy and investments: a case of India*. Agricultural Economics 2017;48:87–100. <https://doi.org/10.1111/agec.12388>.
- [3] Đinh Thu P. *An Overview Of Industrial Revolution 4.0 And Impacts On The Transportation Industry*. Transport and Communications Science Journal 2019;70:143–52. <https://doi.org/10.25073/tcsj.70.2.37>.
- [4] Castro e Melo JAG de M e, Faria Araújo NM. *Impact of the Fourth Industrial Revolution on the Health Sector: A Qualitative Study*. Healthc Inform Res 2020;26:328–34. <https://doi.org/10.4258/hir.2020.26.4.328>.
- [5] Tri NM, Hoang PD, Dung NT. *Impact of the industrial revolution 4.0 on higher education in Vietnam: challenges and opportunities*. Linguistics and Culture Review 2021;5:1–15. <https://doi.org/10.21744/lingcure.v5nS3.1350>.
- [6] Zhong RY, Xu X, Klotz E, Newman ST. *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. Engineering 2017;3:616–30. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.
- [7] Zhang X, deVries J, deKoster R, Liu C. *Fast and Faultless? Quantity and Quality Feedback in Order Picking*. Prod Oper Manag 2022;31:1536–59. <https://doi.org/10.1111/poms.13630>.
- [8] Brecher C, Müller A, Dassen Y, Storms S. *Automation technology as a key component of the Industry 4.0 production development path*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2021;117:2287–95. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07246-5>.
- [9] Pereira AC, Romero F. *A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept*. Procedia Manuf 2017;13:1206–14.



- <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>.
- [10] Oluyisola OE, Sgarbossa F, Strandhagen JO. *Smart Production Planning and Control: Concept, Use-Cases and Sustainability Implications*. Sustainability 2020;12:3791. <https://doi.org/10.3390/su12093791>.
- [11] Tkaczyk AH, Bartl A, Amato A, Lapkovskis V, Petranikova M. *Sustainability evaluation of essential critical raw materials: cobalt, niobium, tungsten and rare earth elements*. J Phys D Appl Phys 2018;51:203001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aaba99>.
- [12] World Energy Outlook 2023 – Analysis - IEA n.d. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (accessed December 22, 2023).
- [13] Pietro C, Testasecca T, La Villetta M, Morale M, Piacentino A. *Thermodynamic-based method for supporting design and operation of thermal grids in presence of distributed energy producers*. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems 2023;11:1–23. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d11.0459>.
- [14] Chen J, Huang S, Ajaz T. *Natural resources management and technological innovation under EKC framework: A glimmer of hope for sustainable environment in newly industrialized countries*. Resources Policy 2022;79:103016. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103016>.
- [15] Anshari M, Syafrudin M, Fitriyani NL. *Fourth Industrial Revolution between Knowledge Management and Digital Humanities*. Information 2022;13:292. <https://doi.org/10.3390/info13060292>.
- [16] Junaidi J, Sarjana S. *Desain Nozle Sistem Pengisi Botol Otomatis*. Jurnal Ilmiah Teknologi Harapan 2022;10:52–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.35447/jitkeh.v10i1.730>.
- [17] Alhaq H, Apriaskar E, Djuniadi D. *Overspeed Detection Using Arduino Uno-based IR Infrared Sensor*. Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro 2023;7:189. <https://doi.org/10.22373/crc.v7i2.16409>.
- [18] Wicaksono DH, Djuniadi D, Apriaskar E. *Monitoring Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbasis Internet of Things*. Jurnal Teknologi Elektro 2023;14:118. <https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i2.010>.
- [19] Ramadhan AE, Djuniadi D, Apriaskar E. *Sistem Pengaturan Pulse Width Modulation Motor Pada Robot Pembawa Makanan atau Minuman Menggunakan Joystick*. TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi Dan Kontrol 2021;7:134–43. <https://doi.org/10.15575/telka.v7n2.134-143>.
- [20] S. Malleswari, S. Manimegalai, R. Manju, L. Muthukkannu, Mrs. N. Nithya. *Automatic Bottle Filling System Using Arduino*. International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology (IJARTET) 2022;9:42–5. <https://doi.org/https://ijartet.com/4156/v9i6/journal>.
- [21] Abubakar AN, Dhar SL, Tijjani AA, Abdullahi AM. *Automated liquid filling system with a robotic arm conveyor for small scale industries*. Mater Today Proc 2022;49:3270–3. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.923>.
- [22] M. I. G. Imam, Firmansyah MBU, Sugiharto WH. *Water Control System at Water Depot With Water Flow Sensor*. Jurnal Mantik 2022;5.
- [23] A. Amin Latif, Andi Sitti Fatmah Aarsal. *Studi Eksperimental Pengaruh Debit Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan pada Hilir Pintu Air dengan Dasar Tanah Lembang*. Jumptech 2022. <https://doi.org/https://doi.org/10.26618/j-jumptech.v1i2.8569>.
- [24] Ruiz-Vargas A, Morris SA, Hartley RH, Arkwright JW. *Optical flow sensor for continuous invasive measurement of blood flow velocity*. J Biophotonics 2019;12. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900139>.
- [25] Li J, Mattewal SK, Patel S, Biswas P. *Evaluation of Nine Low-cost-sensor-based Particulate Matter Monitors*. Aerosol Air Qual Res 2020;20:254–70. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.12.0485>.