

Perancangan sistem kendali pada *Prototype Liquid Handling System* dengan actuator hidrolik

Moch. Rizal Ubaidillah¹, Ferly Ismono Abdi^{2*}, Andita Nataria Fitri G^{3*},
Diah Wulandari^{4*}

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: ¹moch.rizal.19036@unesa.ac.id, ²ferlyabdi@unesa.ac.id, ³anditaganda@unesa.ac.id, ⁴diahwulandari@unesa.ac.id

*Corresponding Author

Abstrak: Perkembangan teknologi sangat berguna untuk memudahkan seluruh aspek kehidupan manusia, seperti pada sektor-sektor manufaktur dan kesehatan. Pada teknologi bidang kesehatan semakin meningkat dan mahal, namun pada pengujian PCR masih dilakukan secara manual dengan tangan manusia dan rentan terkontaminasi serta terkategori mahal. Pada *Liquid Handling System* ini cairan dipindahkan secara otomatis dengan biaya yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode *research and development* dengan membuat desain sistem kendali pada *Liquid Handling System*, menempatkan gelas ukur dan tabung sampel pada titik *point*, serta perancangan program *G-Code* dan koding motor servo menggunakan arduino uno untuk menguji kemampuan sistem *Prototype Liquid Handling System* yang telah dirancang. Berdasarkan hasil uji fungsi modifikasi *CNC Plotter* dan *actuator hidrolic* memiliki kecepatan gerak pada software UGS (universal g-code sender F = 4000) *prototype liquid handling system* menggunakan sampel cairan NaCl dapat disimpulkan bahwa hasil pada skema B cairan NaCl yang didapatkan menghasilkan hasil yaitu 0,83 ml dengan presentase error sebesar 3% setelah melakukan rata-rata 3 kali percobaan. Dan untuk rata-rata waktu pada skema B dari titik o hingga ke titik 5 menghasilkan 25,81 detik.

Kata kunci : liquid handling system, CNC plotter, aktuator hidrolik, Sistem Kendali

Abstract: Technological developments are very useful for facilitating all aspects of human life, such as in the manufacturing and health sectors. In the health sector technology is increasing and expensive, but PCR testing is still done manually by human hands and is prone to contamination and is categorized as expensive. In this *Liquid Handling System* liquid is moved automatically at a more environmentally friendly cost. This study used the research and development method by making a control system design on the *Liquid Handling System*, placing measuring cups and sample tubes at points, as well as designing the *G-Code* program and coding servo motors using Arduino Uno to test the capabilities of the *Prototype Liquid Handling System* system that has been developed. Based on the results of the modified function test of the *CNC Plotter* and hydraulic actuator having movement speed in the UGS software (universal g-code sender F = 4000) *prototype liquid handling system* using NaCl liquid samples, it can be concluded that the results in scheme B of NaCl liquid obtained yield results that are 0,83 ml with an error percentage of 3% after doing an average of 3 trials. And for the average time in scheme B from point o to point 5 it produces 25.81 seconds.

Keywords: liquid handling system, CNC plotter, actuator hidrolic, Control System

© 2023, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Teknologi merupakan suatu yang berguna untuk memudahkan seluruh aspek kehidupan manusia. Dunia data dikala ini seolah tidak dapat terlepas dari teknologi. Pemakaian teknologi oleh warga menjadikan dunia teknologi terus menjadi lama terus menjadi mutakhir. Pertumbuhan teknologi data serta komunikasi yang begitu pesat, sudah menghasilkan bermacam berbagai wujud teknologi ataupun metode pencetakan yang berbagai macam jenisnya, salah satu teknologi yang terbilang mutakhir ialah *Computer Numerical Control* (CNC), dimana mesin CNC dibentuk buat menanggapi tantangan di dunia manufaktur modern. Sedangkan itu, ada metode

pencetakan yang lain dengan memakai plotter (Praminasari, 2016). Jika menengok kembali ke bidang elektronika, dapat dilihat bahwa banyak sekali kegiatan yang melibatkan pembuatan atau pengerjaan jalur di atas papan pcb. Pembuatan jalan rangkaian elektronika ini bukanlah gampang. Banyak yang berkata bila membuat jalan rangkaian elektronika hasil yang diperoleh tidak sangat apik ataupun tidak presisi. Hal-hal tersebut yang jadi kasus dan mendasari penulis hendak merancang suatu perlengkapan yang ialah mesin mini *Computer Numerical Control* (CNC) serta diberi pen plotter dengan 3 sumbu(x, y, z) guna membagikan hasil pencetakan jalan yang kilat, menyederhanakan proses pembuatan, bisa

mengefisienkan waktu pembuatan, serta dengan harga yang terjangkau

Namun terbentuknya pandemi covid- 19 jadi pukulan keras untuk dunia industri, tercantum industri kesehatan ataupun kedokteran. Nampak jika pelaksanaan teknologi masih belum dicoba secara optimal. Dikenal kalau covid- 19 jadi sumber permasalahan kesehatan yang menyebabkan krisis di bermacam negeri cuma dalam hitungan bulan, sampai jadi pandemik hingga dikala ini. Memandang dari kasus yang terus menjadi bertambah, riset ini sudah mencari pemecahan buat menolong tenaga kedokteran dalam melaksanakan uji ilustrasi uji PCR yang teratur dicoba. Sebab, buat pengujian ilustrasi PCR secara manual masih terdapat mungkin terkontaminasi oleh tangan manusia dan harga perlengkapan PCR tersebut terkategori mahal untuk warga golongan menengah (Marais,2009).

Melihat dari permasalahan yang kian terjadi, maka dari itu penelitian ini mulai memikirkan solusi yang dapat membantu tenaga medis untuk menguji sampel tes PCR. Perkembangan di era ini terus terjadi dengan kemajuan teknologi sehingga banyak peneliti yang mengembangkan teknologi untuk membantu para medis. Dengan adanya *Liquid Handling system* ini sangat membantu untuk memudahkan dalam uji tes sampel PCR. Tetapi dengan keterbatasan alat yang sangat minim tidak begitu banyak hasil tes sampel yang bisa diuji dikarenakan alat yang tidak terlalu besar sehingga kapasitas yang diuji tidak begitu banyak dan juga waktu yang diperlukan alat prototype ini tidak begitu efisien.

DASAR TEORI

Sistem Kontrol

Sistem kendali atau sistem kontrol (*control system*) merupakan sebuah perangkat yang terdiri dari berbagai alat untuk mengendalikan, mengarahkan, dan mengatur kondisi dari suatu sistem.

Sistem Kombinasi

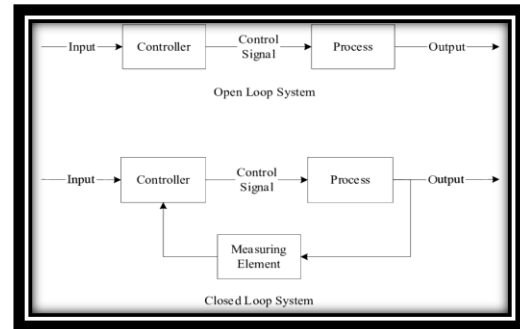
Kombinasi atau gabungan dari berbagai komponen yang beroperasi bersama-sama untuk mencapai suatu tujuan tertentu.

Sistem Open Loop

Pengendalian umpan maju (*open loop system*) yang juga dikenal sebagai sistem pengendalian lup terbuka, adalah jenis sistem di mana keluaran tidak mempengaruhi proses pengendalian. Dalam sistem ini, kinerja kontroler tidak dipengaruhi oleh input referensi.

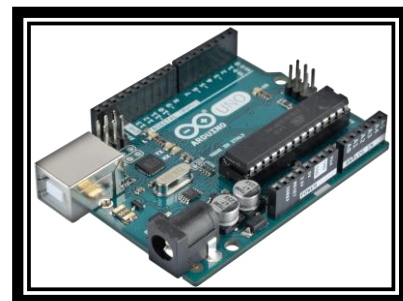
Sistem Umpan Balik

Istilah ini juga sering disebut sebagai sistem pengendalian loop tertutup. Pengendalian jenis ini merujuk pada suatu sistem pengaturan di mana keluaran sistem pengendalian berpartisipasi dalam proses kendali.



Mikrokontroler Arduino

Arduino adalah kitelektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel (Santoso, 2012). Hal ini dapat diartikan Mikrokontroler arduino adalah papan rangkaian elektronik pengendali mikro yang bersifat *open source* yang dirancang untuk memudahkan pembuatan proyek elektronik. Arduino meliputi pemrograman, pembuatan perangkat keras, dan berbagai sensor untuk mengontrol berbagai perangkat. Arduino dirancang untuk membuat dan mengembangkan berbagai macam proyek-proyek elektronik. Arduino dapat digunakan untuk banyak hal, seperti pembuatan robot sampai pembuatan perangkat kontrol. Perangkat keras memiliki prosesor Atmel AVR dan software memiliki bahasa pemrograman sendiri. Mikrokontroler arduino menggunakan keluarga ATmega yang dirilis oleh Atmel.



Gambar 1. Arduino Uno

Software Arduino IDE

Dalam perangkat keras dibutuhkan perangkat lunak guna memprogram perangkat keras tersebut. Perangkat lunak itu menggunakan *software* Arduino IDE. Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah *software* atau perangkat lunak berbasis teks yang dirancang untuk ditujukan membantu *programmer* dalam memprogram, membuat, menyimpan, dan mengunggah kode ke mikrokontroler Arduino. *Software* arduino IDE mengintegrasikan beberapa *tools* yang berbeda menjadi satu perangkat lunak, sehingga memudahkan pengembang *software* untuk menyelesaikan pekerjaannya lebih cepat.

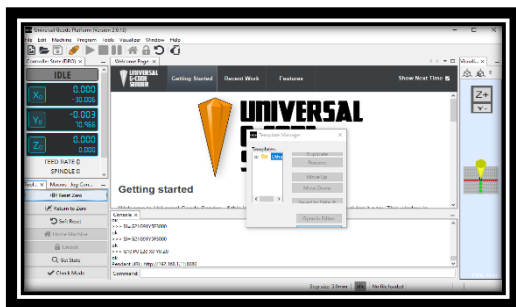
Programmer dapat menggunakan Arduino IDE untuk menulis, menguji, dan mengunggah kode ke mikrokontroler Arduino melalui port USB. Arduino IDE mendukung bahasa pemrograman Arduino, yang merupakan bahasa tingkat tinggi berbasis C / C++ yang merupakan bahasa pemrograman yang mudah dipelajari, tetapi juga fleksibel dan memiliki berbagai macam fitur yang membuatnya ideal untuk pengembangan berbagai jenis proyek yang dirancang khusus untuk memudahkan pemrograman pada perangkat Arduino. Beberapa contoh IDE yang populer diantaranya adalah Microsoft Visual Studio, IntelliJ IDEA, Eclipse, dan NetBeans.



Gambar 2. Tampilan Software arduino uno

G-CODE /Nc-Code CNC

G- Code/ Nc- Code merupakan bahasa yang digunakan buat mengendalikan suatu mesin CNC. G-Code/ Nc- Code merupakan salah satu tipe pemrograman CNC yang digunakan oleh para *programmer* CNC, tipe yang lain merupakan program COM. G- code umumnya diucap *cycle codes* sebab gunanya yang mengacu pada pergerakan sumbu X, Y serta Z dari mesin CNC. G- Code/ Nc-Code dikelompokkan kedalam sebagian kelompok semacam kelompok 01 yang mencakup kode G00, G01, G02, G03 yang pengaruhi pergerakan dari bidang cetak serta *nozzle*.



Gambar 3. Pengoperasian UGS (Universal G-Code Sender)

Diagram blok Sistem Kendali

Secara formal, galat persentase (percentage error) merupakan perbedaan antara nilai perkiraan dengan nilai eksak, yang kemudian dibagi dengan nilai eksak, dan hasilnya dikalikan dengan 100. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengetahui sejauh mana ketepatan nilai perkiraan dibandingkan dengan nilai eksak, diukur dalam bentuk persentase dari nilai eksak itu sendiri. Galat ini bisa muncul akibat kesalahan dalam perhitungan, baik itu disebabkan oleh kesalahan manusia atau alat, maupun karena perkiraan yang digunakan dalam perhitungan, seperti kesalahan pembulatan. Walaupun deskripsi metode ini terdengar rumit, rumus perhitungannya sendiri sebenarnya sederhana dan mudah untuk diaplikasikan.

$$\text{Error \%} = (\text{nilai eksak} - \text{nilai perkiraan}) / \text{eksak} \times 100$$

Persamaan rumus **error** (2.1)

METODE

Jenis Penelitian

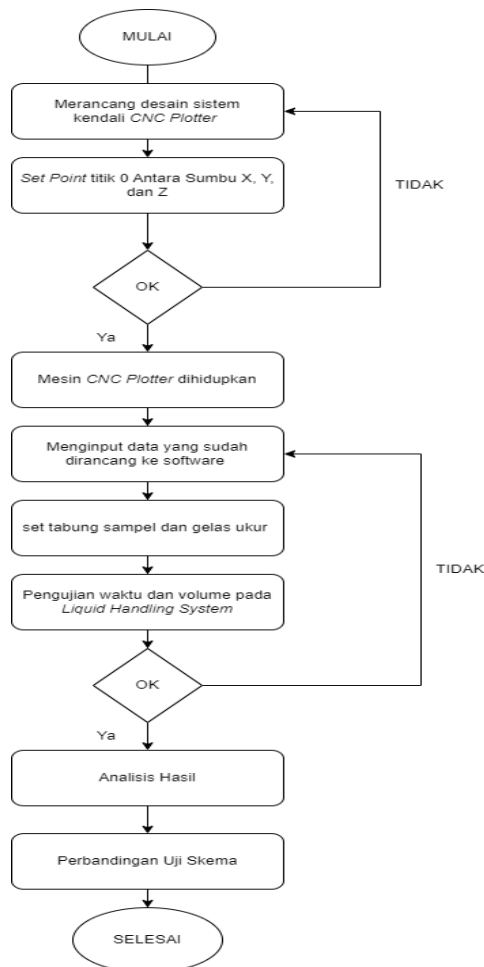
Penelitian ini menggunakan jenis penelitian Pengembangan atau Research and Development (R&D). Penelitian dan pengembangan ini bertujuan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji efektivitas produk tersebut. Pengembangan pada kegiatan penelitian dasar yang bertujuan untuk memperoleh informasi yang akan dikembangkan lebih lanjut. Hasil dari pengembangan ini nantinya akan digunakan untuk mengkaji efektivitas topik atau tema yang akan diteliti. R&D (Penelitian dan Pengembangan) merupakan suatu kegiatan yang bertujuan untuk menyelidiki literatur guna menciptakan rencana yang akan diwujudkan. Secara terminologi, Research and Development adalah serangkaian proses dan langkah-langkah yang bertujuan untuk menciptakan produk baru atau meningkatkan produk yang sudah ada, yang dapat dipertanggungjawabkan.

Prosedur Penelitian

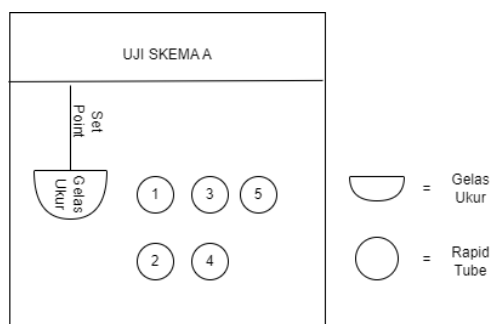
Adapun prosedur dalam penelitian ini adalah:

1. Mulai melakukan riset terhadap system kendali pada *liquid handling system* dan Aktuator Hidrolik
2. Pengumpulan data studi literatur yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan
3. Membuat *software* sistem kendali terhadap program alat *prototype*
4. Membuat Rancangan desain sistem penelitian menggunakan GRBL
5. Menginput data desain sistem kedalam *software* GRBL
6. Membuat rumusan masalah yang berkaitan dengan penelitian
7. Menginput data yang sudah tepat kedalam *software* GRBL
8. Pengujian kemampuan *prototype* dalam memprogram sistem yang telah dirancang menggunakan cairan NaCl

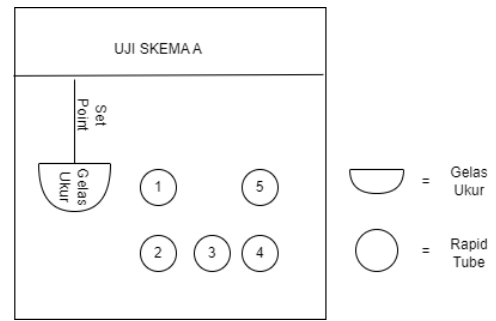
9. Menganalisis data yang telah didapatkan dari hasil pengujian alat
10. Membandingkan beberapa skema langkah kerja
11. Membuat kesimpulan akhir terhadap penelitian



Gambar 4. Sistem kendali secara prosedur



Gambar 5. Uji Fungsi Skema A



Gambar 6. Uji Fungsi Skema B

Keterangan:

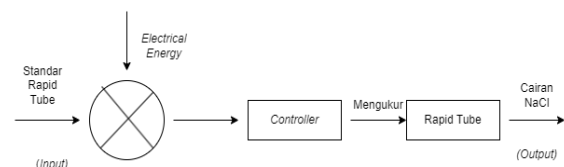
1. Pada gambar diatas, alat terlebih dahulu mengambil sampel NaCl dengan titik *set point* dan dibantu ekstraksi oleh aktuatur hidrolik. Kapasitas mengambil *liquid* NaCl ini yaitu 5ml kemudian alat bergerak ke titik rapid tube dari titik awal hingga ke rapid tube terakhir dengan menuangkan *liquid* sebesar 0,9ml, kemudian alat bergerak sesuai titik yang sudah ditentukan.
2. Pada gambar B, alat bergerak sesuai dengan gambar A akan tetapi pada gambar B ini alat bergerak dengan Mengikuti alur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Umum

Pada hasil pembahasan ini setelah dilakukannya perancangan sistem kendali pada *liquid handling system* dengan aktuatur hidrolik kemudian mulai melakukan riset terhadap system kendali pada *liquid handling system* dan Aktuatur Hidrolik tersebut, mekanisme software dalam *prototype* ini menggunakan *firmware* laser GRBL dan juga arduino uno setelah semua proses dilakukan proses uji coba fungsi alat *prototype liquid handling system* ini dari proses menentukan titik koordinat 0 mesin *CNC plotter* hingga ke titik yang sudah ditentukan, menempatkan tabung sampel dan gelas ukur, pemograman Arduino motor *MG996R* untuk *actuatur hidrolic* setelah semua uji coba dilakukan proses selanjutnya adalah menganalisis hasil uji coba sampel cairan NaCl.

Blok diagram sistem kendali



Gambar 7. Blok diagram sistem kendali

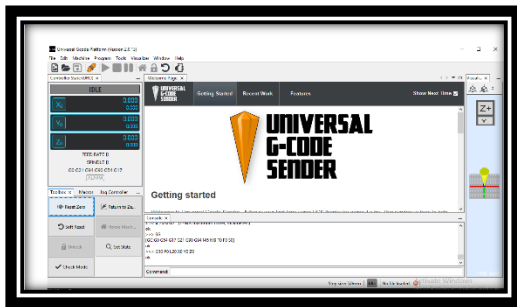
Pada gambar 7 merupakan blok diagram sistem kendali pada *Liquid Handling System* secara umum yang menggunakan sistem *open loop*. Pada sistem *open loop* ini keluaran tidak ikut andil dalam aksi pengendalian. Sehingga pemograman hanya dilakukan sekali. Dalam proses uji fungsi ini cairan

yang digunakan yaitu NaCl dan tabung yang digunakan yaitu standar tabung *rapid tube*.

Perakitan Rangka Aluminium Profile

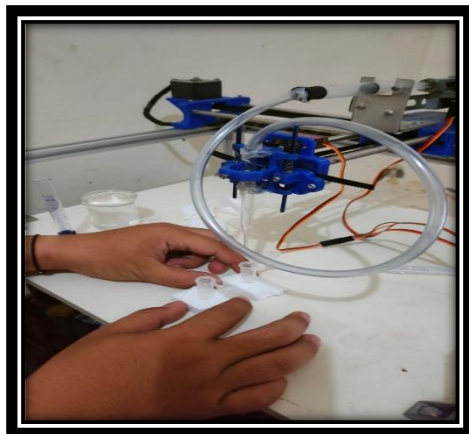
Langkah pertama dalam perakitan system *Universal G-code Sender* menggunakan *power supply* sebagai sumber daya yang disalurkan ke setiap komponennya dan juga alat yang dibutuhkan seperti motor *stapper nema 17*, setelah semua komponen telah dipersiapkan maka langkah berikutnya adalah menetapkan titik point untuk *rapid tube* nya.

- Penentuan set point CNC plotter menggunakan Universal G code Sender



Gambar 8. Set point CNC plotter menggunakan UGS

- Pemasangan titik set point rapid tube



Gambar 9. Pemasangan titik point rapid tube

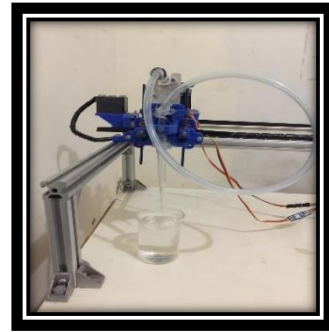
- Penetapan titik set point rapid tube



Gambar 10. Penentuan titik set point

Pemograman CNC Plotter dengan Universal G-Code Sender

Pada pemograman ini awal mula untuk melakukan pemograman yaitu dengan menentukan titik X dan titik Y. Dengan set point gelas ukur yang sudah ditentukan, dengan titik X (\$J=G21G91Y-165F4000) dan titik Y (\$J=G21G91X60F4000) seperti contoh gambar dibawah :



Gambar 11. Set point titik X dan Y

Proses Uji Fungsi

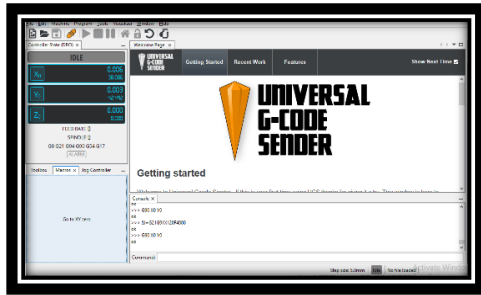


Gambar 9. Diagram Blok Uji Fungsi

- Menentukan titik koordinat 0 mesin *CNC Plotter*

Titik koordinat 0 merupakan referensi awal yang terdiri dari tiga sumbu pada mesin *CNC plotter*, yaitu sumbu X, Y, dan Z. Sumbu X menunjukkan arah horizontal dari kiri ke kanan dan ketika mesin berada pada titik koordinat 0 sumbu X, maka *actuator hidrolic* akan berada di posisi paling kiri mesin. Sumbu Y menunjukkan arah horizontal dari depan ke belakang, dan ketika mesin berada pada titik koordinat 0 sumbu Y, maka *actuator hidrolic* akan berada di posisi paling depan mesin. Sumbu Z menunjukkan arah vertikal dari bawah ke atas, dan ketika mesin berada pada titik koordinat 0 sumbu Z, maka *actuator hidrolic* akan berada di posisi paling bawah mesin untuk menghindari kontak dengan benda kerja.

Untuk titik koordinat 0 mesin *CNC plotter*, yaitu sumbu \$J=G21G91Y0F4000, untuk arah sumbu Y paling kanan sebesar \$J=G21G91X-170F4000 sedangkan sumbu Y paling kiri sebesar \$J=G21G91X160F4000, untuk arah sumbu X paling kanan sebesar \$J=G21G91X120F4000 sedangkan sumbu X paling kiri sebesar \$J=G21G91X-120F4000.



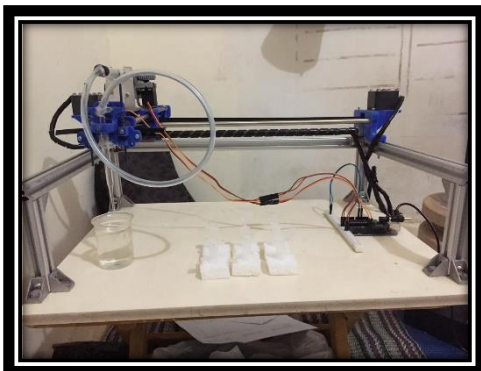
Gambar 12. Program G-Code titik 0 CNC plotter

Tabel 1. Hasil uji fungsi pemindahan tabung reaksi

No	Sumbu	Program
1	Y kiri	\$J=G21G91Y-165F4000
2	X kanan	\$J=G21G91X60F4000
3	Y kanan	\$J=G21G91Y120F4000
4	X kanan	\$J=G21G91X40F4000
5	Y kanan	\$J=G21G91Y40F4000
6	Y kanan	\$J=G21G91Y40F4000
7	X kiri	\$J=G21G91X-40F4000

b. Menempatkan tabung sampel dan gelas ukur

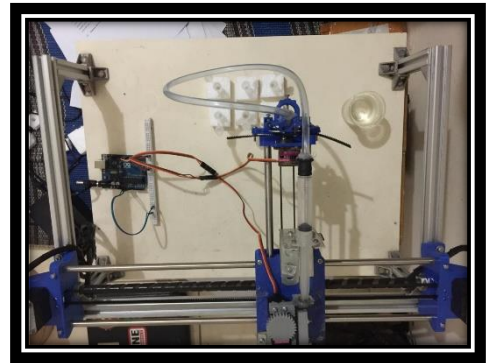
Tahap selanjutnya adalah menempatkan tabung sampel pada mesin *CNC plotter*. Tabung-tabung tersebut ditempatkan pada sterofom yang sudah dipotong sesuai posisi rapid tube, sehingga memungkinkan mesin *CNC plotter* untuk mengambil liquid dalam tabung dan juga menuangkan liquid NaCl secara otomatis dengan bantuan motor *servo*.



Gambar 13. Penempatan tabung sampel dan gelas ukur

Setelah tabung sampel ditempatkan sesuai posisinya, selanjutnya adalah menempatkan gelas ukur pada mesin *CNC plotter*. Gelas ukur ini ditempatkan di sisi kanan *actuator hidrolis*,

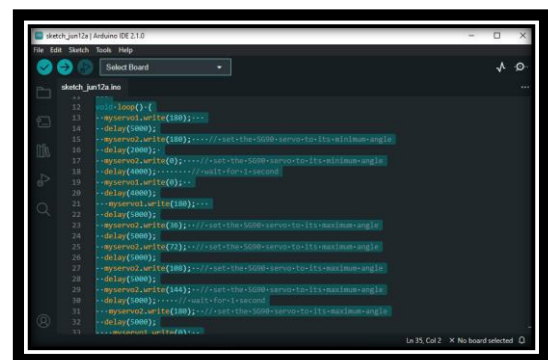
sehingga cairan sampel yang diambil dari tabung dapat langsung dituangkan ke dalam rapid tube.



Gambar 14. Penempatan gelas ukur uji coba

c. Pemrograman *actuator hidrolis* menggunakan software arduino IDE

Sebelum melakukan pemrograman menggunakan software arduino IDE sesuai dengan *mapping* yang sudah di titik koordinatkan. Beberapa pengaturan yang harus dikonfigurasi meliputi waktu delay dan sudut derajat. Konfigurasi *firmware* dapat dilakukan melalui file *Configuration.h*. Setelah di *setting* sesuai titik set point tadi program arduino IDE dapat dimasukkan ke dalam *breadboard* kontrol menggunakan IDE Arduino. Setelah program arduino IDE berhasil diprogram ke *board* kontrol. Perintah arduino uno ini berfungsi untuk menggerakkan motor MG996R dan juga motor MG90S untuk melakukan proses pengujian sampel liquid NaCl. Setelah program berhasil diuji, uji sistem *actuator hidrolis* secara menyeluruh dengan menjalankan program yang lebih kompleks dan memastikan bahwa sistem berfungsi dengan sesuai dengan spesifikasi.



Gambar 14. Pemrograman Aktuator hidrolis menggunakan Arduino

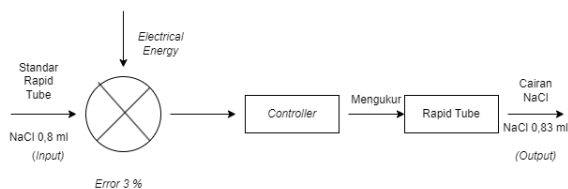
Hasil Uji Sampel

Tabel 1. Uji Coba Skema B

Uji Coba Skema B							Rata rata	
Titik	Uji (1)		Uji (2)		Uji (3)			
	Second	Volume	Second	Volume	Second	Volume	Second	Volume
0 → 1	2,54	0,65	2,58	0,7	2,33	0,7	2,48	0,66
1 → 2	6,76	1,0	7,10	0,85	6,90	0,9	6,92	0,91
2 → 3	5,37	0,8	5,44	0,9	5,30	0,9	5,37	0,86
3 → 4	5,36	0,9	5,61	0,85	6,74	0,85	5,90	0,86
4 → 5	4,94	0,9	5,13	0,9	5,36	0,85	5,14	0,88

Berdasarkan tiga uji coba pada tabel 1 uji coba skema B ini waktu rata rata yang dihasilkan dari titik 0→1 sebesar 2,48, titik 1→2 sebesar 6,92, titik 2→3 sebesar 5,37, titik 3→4 sebesar 5,90, titik 4→5 sebesar 5,14 dan volume rata rata pengambilan cairan dari titik 0→1 sebesar 0,66ml, titik 1→2 sebesar 0,91ml, titik 2→3 sebesar 0,86ml, titik 3→4 sebesar 0,86, titik 4→5 sebesar 0,88ml. total waktu dari pengambilan liquid sampai ke titik penuangan terakhir sebesar 25,81 second.

Blok diagram uji coba Skema B



Gambar 14. Hasil blok diagram uji skema B

Pada gambar 14 ini menjelaskan blok diagram arduino IDE dan CNC Plotter pada uji coba skema B yang inputnya sebesar 0,8 ml cairan NaCl dalam standar rapid tube, kemudian menghasilkan output sebesar 0,83 ml cairan NaCl dan waktu pada uji skema B ini dari titik 0 sampai ke titik 5 membutuhkan 25,81 detik, dimana terdapat error sebesar 3% setelah melakukan rata-rata 3 kali percobaan. Diketahui ini adalah rumus presentase error atau pada persamaan rumus (2.1)

$$\text{Error} = \frac{\text{nilai perkiraan} - \text{nilai eksak}}{\text{eksak}} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = \frac{0,8 - 0,83}{0,83} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = \frac{0,03}{0,83} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 0,03 \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 3 \%$$

Pada presentase error atau persamaan rumus (2.1) menjelaskan bahwa nilai perkiraan yaitu nilai input 0,8 ml dengan standar rapid tube yang diinginkan dikurangi dengan nilai eksak yaitu 0,83 ml dari hasil rata – rata volume tabel uji coba

skema B dan hasil error yang dijumlahkan sebesar 3%

SIMPULAN

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik simpulan:

1. Alat *Prototype Liquid Handling System* modifikasi *CNC Plotter* dan *actuator hidrolis* yang memiliki kecepatan gerak pada software UGS (universal g-code sender F = 4000).
2. Hasil uji fungsi *Prototype Liquid Handling System*. Berdasarkan hasil pada skema B cairan NaCl yang didapatkan menghasilkan hasil yaitu 0,83 ml dengan presentase error sebesar 3% setelah melakukan rata-rata 3 kali percobaan. Dan untuk rata-rata waktu pada skema B dari titik 0 hingga ke titik 5 menghasilkan 25,81 detik. Dan sedangkannya rata – rata waktu pada skema A menghasilkan 28,84 detik.

REFERENSI

- Arifin, A. (2021, JUNE 27). *Sistem Kontrol Open Loop & Close Loop Serta Contohnya*. Retrieved from carailmu.com: <https://www.carailmu.com/2021/06/open-loop-close-loop.html>
- Alhamid, Thalha. 2019. *Instrumen Pengumpulan Data Kualitatif*. Diakses pada 1 Maret 2023 dari https://www.researchgate.net/publication/331022834_INSTRUMEN_PENGUMPULAN_DATA_KUALITATIF#:~:text=Instrumen%20pengumpulan%20data%20adalah%20alat,aktif%20dilapangan%20untuk%20memperoleh%20data
- Awaludin, A., Yanuar, A., Stani, M. I. 2012. *Rancangan untuk Teknologi Informasi*. Makalah. Jakarta: Universitas Indraprasta PGRI.
- Bahrin. 2017. *Sistem Kontrol Penerangan menggunakan Arduino Uno pada Universitas Ichsan Gorontalo*. Jurnal Ilmiah ILKOM Vol. 9 (3).
- Dinda, Tarisa. 2021. *Yuk Mengenal Arduino, Mikrokontroler Andalan Banyak Orang!*. Diakses pada 1 Maret 2023 dari <https://tutorteknik.com/blog/yuk-mengenal-arduino-mikrokontroler-andalan-banyak-orang>
- Dasar Sistem. (2016, june 22). Retrieved from Dasar sistem kendali software: www.dasar-sistem-kendali.com
- Fikri, M. H. 2021. *Perancangan Kendali Aktuator Hidrolik Mesin Press pada Proses Deep Drawing dengan Pengendali STR-PID*. Skripsi. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.