

RANCANG BANGUN PROTOTYPE LIQUID HANDLING SYSTEM UNTUK SAMPEL PCR MODIFIKASI CNC PLOTTER DAN FINGER ROBOTIC

Muhammad Difa Ash Shadiq

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya
E-mail : muhammad.19025@mhs.unesa.ac.id

Ferly Isnomo Abdi, S.T., S.Pd., M.T.

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya
E-mail : ferlyabdi@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi digital di bidang medis dan kesehatan semakin meningkat, namun pengujian sampel PCR secara manual masih rentan terkontaminasi tangan manusia dan tergolong mahal. *Liquid handling system*, sebuah alat untuk memindahkan cairan secara otomatis, dapat menjadi solusi dengan biaya yang lebih ramah lingkungan dan mudah digunakan. Modifikasi *CNC Plotter* dengan *finger robotic* dijadikan sebagai alat *liquid handling system* untuk memproses cairan ekstraksi sampel PCR secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi. Penelitian ini menggunakan metode R&D atau *research and development* dengan membuat desain *Prototype Liquid Handling System*, menempatkan gelas ukur 30 ml dan tabung sampel PCR tube, serta perancangan program G-Code dan koding motor servo untuk menguji kemampuan sistem *Prototype Liquid Handling System* yang telah dirancang. Berdasarkan hasil uji fungsi *prototype liquid handling system* menggunakan sampel cairan NaCl dapat disimpulkan bahwa untuk menentukan nilai pengujian terbaik menggunakan simpangan terkecil yaitu 0,1494 ml/s dari variasi *delay* 6 dan 10 ms. Disimpulkan bahwa *prototype* sistem penanganan cairan yang telah di rancang bangun dapat menjadi solusi terbaik untuk proses PCR dengan menggunakan alat modifikasi *CNC plotter* dan *finger robotic* dengan mengurangi tingkat kontaminasi dengan manusia.

Kata kunci: *liquid handling, CNC plotter, PCR, finger robotic.*

Abstract

The development of digital technology in the medical and health fields is increasing, but manual PCR sample testing is still vulnerable to contamination by human hands and is relatively expensive. A liquid handling system, a tool for moving liquids automatically, can be a solution that is more environmentally friendly and easy to use. Modification of the CNC Plotter with a robotic finger is used as a liquid handling system tool to process liquid PCR sample extraction automatically with a high degree of accuracy. This study uses the research and development method by designing a Prototype Liquid Handling System, placing measuring cups and sample tubes, as well as designing the G-Code program and coding servo motors to test the capabilities of the Prototype Liquid Handling System system that has been designed. Based on the results of the liquid handling system prototype function test using NaCl fluid samples, it can be concluded that the higher the delay in the Arduino servo coding program, the longer the testing time. It can be concluded that the liquid handling system prototype that has been designed can be an effective solution for the PCR process using a modified CNC plotter and robotic finger by reducing the level of contamination with humans.

Keywords: *liquid handling, CNC plotter, PCR, finger robotic*

PENDAHULUAN

Sebagai respons terhadap konsep digitalisasi mempengaruhi cara kita bekerja, berbelanja, bepergian, mendidik, mengelola, dan hidup. Terutama dengan perkembangan terbaru dari Revolusi Industri 4.0, teknologi digital telah memiliki dampak signifikan pada segala bidang, termasuk di bidang medis dan kesehatan. Dalam hal ini, transformasi digital 4.0 yang terjadi dalam dunia medis juga sangat dibutuhkan untuk dapat membantu pekerjaan dan memudahkan pelaksanaan proses pengujian laboratorium yang

dilakukan (Clinical Chemistry, 2012) contohnya pengujian sampel ekstraksi PCR (polymerase chain reaction).

COVID-19"Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic (World Health Organization, 2020). Melihat dari permasalahan yang semakin meningkat, penelitian ini telah mencari solusi untuk membantu tenaga medis dalam melakukan uji sampel tes PCR yang rutin dilakukan. Karena, untuk pengujian sampel PCR secara manual masih ada kemungkinan terkontaminasi oleh tangan manusia dan harga alat PCR tersebut tergolong

mahal bagi masyarakat kalangan menengah yaitu kisaran 200 juta. (Marais, 2009) yaitu alat *Liquid Handling System* menggunakan interfensi dari *Hamilton* suatu alat untuk memproses sampel *PCR* secara otomatis.

Liquid handling system adalah sebuah alat laboratorium otomatis yang dirancang untuk menangani dan mengalirkan cairan dalam jumlah kecil dengan presisi yang tinggi. Sistem ini biasanya digunakan dalam berbagai aplikasi laboratorium seperti penelitian biologi molekuler, diagnostik medis, pengujian obat, dan penelitian kimia (SLAS Technology, 2017). *Liquid handling system* modifikasi *CNC plotter* menjadi solusi terbaik untuk memproses cairan ekstraksi sampel *PCR* secara otomatis karena biaya *fast part* yang masih tergolong mahal.

CNC plotter memiliki akurasi yang sangat tinggi dalam memproses bahan, menghasilkan hasil yang sangat presisi sehingga mempercepat waktu penyelesaian proyek (Yamada dkk., 2017). Mesin ini dapat digunakan untuk mencetak gambar dalam dua atau tiga dimensi dan memiliki keuntungan karena komponen yang digunakan cukup terjangkau dan mudah diperoleh (Christoper Tanato dkk., 2021) *CNC plotter* memiliki beberapa keunggulan untuk proses pemipetan secara otomatis yaitu untuk mengurangi tingkat kontaminasi dari tangan manusia karena pengoperasiannya menggunakan *software* laser *GRBL* yang sudah dimodifikasi. Untuk bisa mengambil cairan *liquid* dibutuhkan modifikasi atau penambahan komponen seperti *finger robotic* yang terbuat dari *3d printing*.

Modifikasi pada mesin *CNC Plotter* untuk pemindahan cairan dapat dilakukan dengan menambahkan *finger robot* mesin tersebut. Tujuan dari modifikasi ini adalah untuk memindahkan, mencapit pipet dan pergerakannya mengikuti *CNC plotter* agar bisa memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lain pada permukaan objek yang ingin diberi cairan. Biasanya, modifikasi *CNC Plotter* untuk pemindahan cairan dilakukan untuk aplikasi tertentu seperti pencetakan cairan atau penempatan cairan pada titik-titik tertentu pada objek. Aplikasi ini dapat digunakan di berbagai bidang, seperti industri *bioteknologi*, pembuatan sirkuit cetak, atau pembuatan produk produk berbahan dasar cairan. Selain itu, mesin harus dipastikan cocok untuk digunakan pada aplikasi tersebut dan memiliki komponen tambahan yang dibutuhkan untuk memindahkan cairan dengan aman dan efisien (Hidayatullah & Wicaksono, A. P, 2020).

Penginderaan *non invasif* dari tingkat cairan dan jenis cairan berdasarkan *interferometer*

Fabry-Perot serat optic (Dang dkk., 2021). Cairan *liquid* yang tidak boleh terkontaminasi dapat bervariasi tergantung pada aplikasi atau penggunaannya. Namun, beberapa contoh cairan yang sangat penting untuk tidak terkontaminasi adalah cairan infus medis dimana cairan infus digunakan untuk menyuntikkan obat-obatan dan nutrisi ke dalam tubuh pasien. Sistem infus untuk kontrol dosis mikro secara otomatis dan tepat (Huang dkk., 2019).

Solusi yang menjadi dasar penelitian adalah menciptakan sebuah *Prototype Liquid Handling System* yang dimodifikasi dari *CNC plotter* dan *finger robotic*. Penelitian ini dilakukan untuk menyelesaikan berbagai masalah, termasuk tingkat kontaminasi yang masih tinggi akibat sentuhan tangan dan tingkat akurasi pengambilan sampel yang kurang akurat. Selain itu, harga *Liquid Handling System Hamilton* yang cukup mahal juga menjadi kendala sehingga dibutuhkan alat yang dapat mengurangi tingkat kontaminasi pada proses ekstraksi sampel *PCR* secara otomatis dan memberikan kemajuan dalam teknologi kesehatan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat *Prototype Liquid Handling System* yang dimodifikasi dari *CNC plotter* dan *finger robotic*.

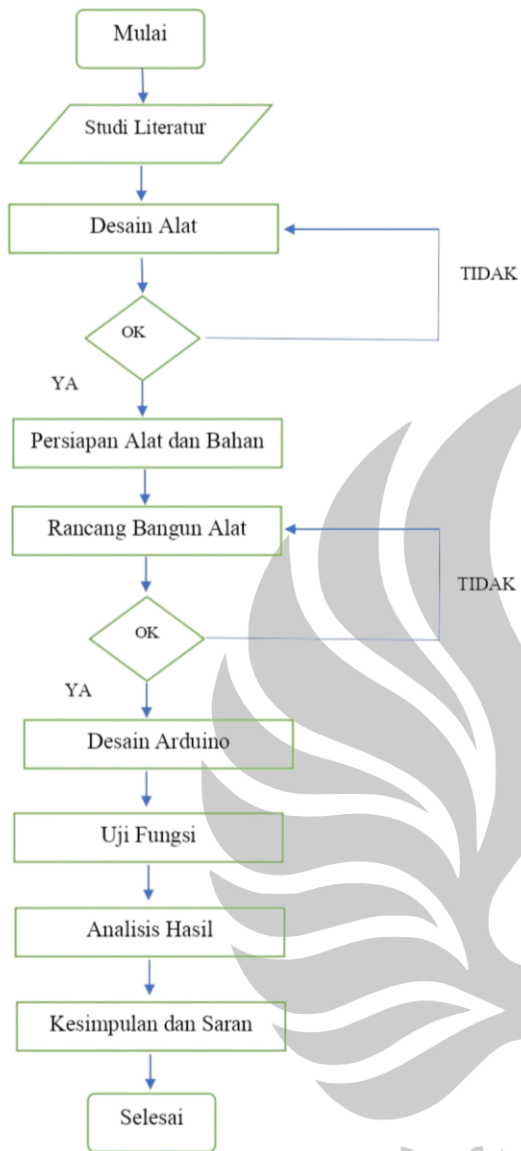
METODE

Jenis Penelitian

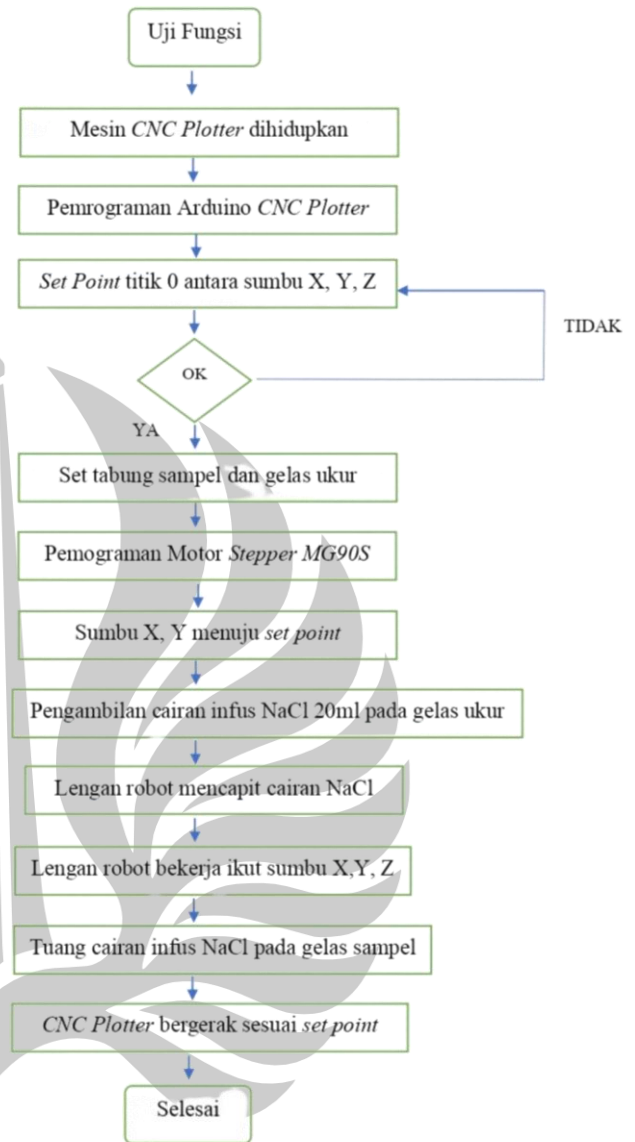
Jenis penelitian ini adalah pengembangan, dimana penelitian dilakukan dengan melakukan riset yang bertujuan mendapatkan informasi yang dikembangkan. Menurut penelitian Sugiyono (2009), pengembangan merupakan kegiatan penelitian dasar yang bertujuan untuk memperoleh informasi yang akan dikembangkan lebih lanjut. Hasil dari pengembangan tersebut dapat digunakan untuk mengkaji keefektifan topik atau tema penelitian yang akan diteliti. Sugiono menyebutkan bahwa *research and development (R&D)* diperuntukan untuk studi literatur untuk menghasilkan rancangan yang hendak dibuat.

Diagram Alir

Diagram alir *CNC plotter* untuk *liquid handling system* dimulai dengan persiapan bahan dan desain file, dilanjutkan dengan penempatan bahan pada meja *CNC plotter*, inisiasi program, pemantauan transfer, dan selesai dengan membersihkan sistem dan mengatur ulang bahan untuk proses transfer berikutnya. Desain uji coba secara umum penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Sistem Kerja *Prototype Liquid Handling System*



Gambar 2. Uji Fungsi Set Sistem kerja *Prototype Liquid Handling System*

Diagram uji fungsi penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 2

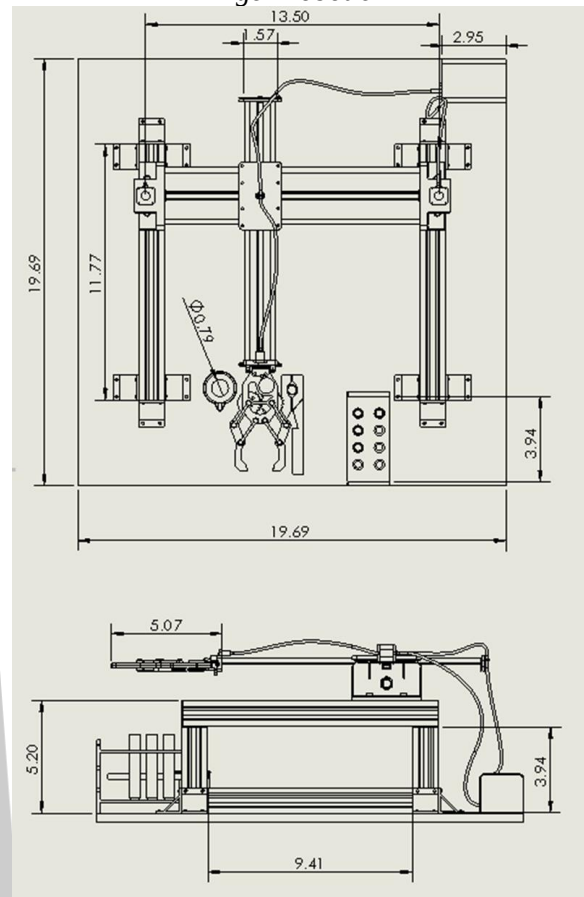
Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dalam penelitian ini adalah:

1. Melakukan riset terhadap kendala atau masalah yang dihadapi dalam menghadapi *COVID-19*;
2. Pengumpulan mempelajari hasil-hasil penelitian yang ada yang terkait dengan penelitian proses ekstraksi sampel PCR dan alat *liquid handling system*;
3. Merancang konsep penempatan gelas ukur, gelas sampel cairan NaCl pada mesin *CNC plotter*;
4. Membuat desain *Prototype Liquid Handling System* modifikasi *CNC Plotter* dan *finger robotic*;

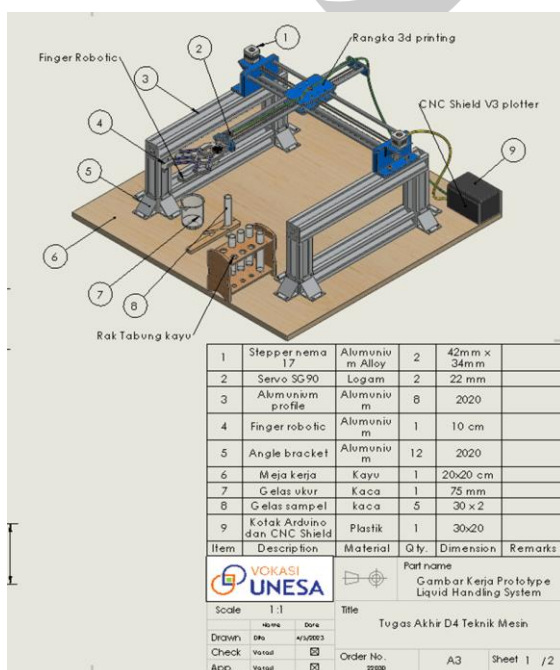
- Menempatkan gelas ukur, gelas sampel infus NaCl, rak tabung sesuai *set point* pada *software* laser GRBL yang telah dirancang;
- Membuat perancangan program G-Code di *software* laser GRBL CNC *plotter* dan program koding motor *servo* menggunakan *software* Arduino IDE *prototype Liquid Handling System* modifikasi CNC *Plotter* dan *finger robotic*;
- Pengujian kemampuan *Prototype Liquid Handling System* modifikasi CNC *Plotter* dalam program sistem yang telah dirancang di *software* Laser GRBL menggunakan program G-Code tersebut;
- Perhitungan struktur mekanik alumunium profile dan motor penggerak *prototype liquid handling system* modifikasi CNC *Plotter* dan *finger robotic*;
- Pengujian *finger robotic Prototype Liquid Handling System* modifikasi CNC *Plotter* dalam program sistem yang telah dirancang di *software* Arduino IDE menggunakan program koding motor *servo* yang telah dirancang sebelumnya;
- Mengolah data yang didapatkan dari hasil pengujian berupa waktu, volume yang diperoleh pada alat *Prototype Liquid Handling System* modifikasi CNC *Plotter* dan *finger robotic*;
- Membuat simpulan akhir berupa volume cairan infus NaCl dan waktu rata rata pada proses pengujian menggunakan tiga *delay* pada *software* Arduino IDE.

Gambar 3. Gambar Kerja *Prototype Liquid Handling System* modifikasi CNC *Plotter* dan *Finger Robotic*



Gambar 4. Gambar Kerja 2D Dimensi Mesin CNC *Plotter*

Spesifikasi Alat



HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Umum

Setelah dilakukannya rancang bangun alat *prototype liquid handling system* modifikasi CNC *plotter* dan *finger robotic* kemudian melakukan perhitungan struktur mekanik alumunium profile, mekanisme penggerak motor *stepper* dan motor *servo* setelah semua proses dilakukan proses uji fungsi alat *prototype liquid handling system* tersebut dari proses menentukan titik koordinat 0 mesin CNC *plotter*, menempatkan tabung sampel dan gelas ukur, pemograman *firmware* laser GRBL, pemograman Arduino motor MG996R untuk *finger robotic* setelah semua uji fungsi dilakukan proses selanjutnya adalah menganalisis hasil uji coba sampel NaCl.

Perakitan Rangka Alumunium Profile

Langkah pertama dalam perakitan CNC *plotter* menggunakan profil aluminium adalah mempersiapkan semua komponen dan alat yang dibutuhkan. Ini termasuk profil aluminium, baut,

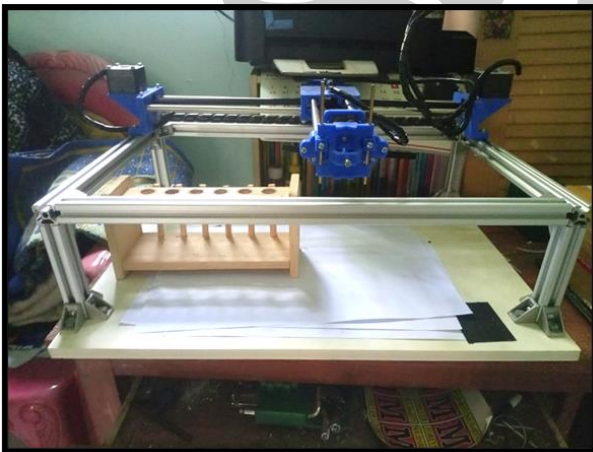
mur, pengunci sudut, mesin *CNC plotter*, dan peralatan pengukuran. Setelah semua komponen dan alat telah dipersiapkan, langkah berikutnya adalah memotong profil aluminium sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan untuk membuat kerangka *plotter*.

- Pemotongan Alumunium Profile Series 2020



Gambar 5. Mesin *CNC Plotter* sebelum *disassembly*

- Pemasangan Alumunium Profile Series 2020 ke *CNC Plotter*



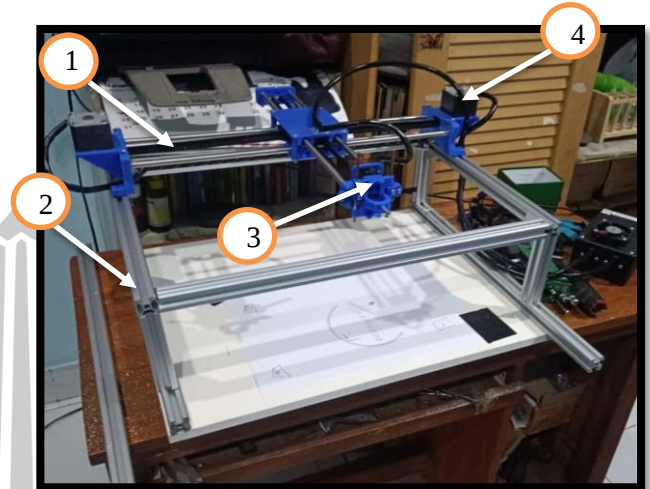
Gambar 6. Alumunium Profile Setelah dipasang ke *CNC Plotter*

- Tahapan pemasangan *CNC Shield V3*

Komponen yang dibutuhkan mencakup *CNC Shield V3*, *driver motor stepper*, *Arduino Uno*, kabel penghubung, dan motor *stepper*. Peralatan yang diperlukan meliputi obeng, solder, kabel *stripper*, dan kabel *tie*. Setelah semua komponen dan peralatan telah disiapkan, langkah berikutnya adalah memasang *driver motor stepper* pada *CNC Shield V3* dan menghubungkannya dengan motor *stepper* yang ada pada *CNC Plotter*.

Perakitan Mekanisme Motor Penggerak

- Pemasangan motor servo *MG90*



Gambar 7. *CNC Plotter* setelah dipasang motor servo *MG90S*

Keterangan: 1) *Vanbelt CNC Plotter*; 2) Alumunium profile series 2020; 3) Motor servo *MG90S*; 4) Motor stepper nema 17

- Pemasangan *finger robotic*



Gambar 8. *Finger Robotic*

Tabel 1. Dimensi *Prototype Liquid Handling System*

No	Nama Bagian	Ukuran (m)
1	Tinggi total	0,06
2	Panjang total	0,4
3	Lebar total	0,2
4	Lebar alumunium profile	0,02
5	Panjang alumunium profile	0,1
6	<i>Angle bracket corner</i>	0,01

7	T nut profil	0,01
---	--------------	------

Perhitungan Rancang Bangun Alat

- Menghitung Struktur Mekanik

Untuk menghitung struktur mekanik pertama tama harus menghitung tegangan yang dihasilkan dan menghitung motor servo MG90S.

Tabel 2. Hasil perhitungan Struktur Mekanik Alumunium Profile

No	Perhitungan	Nilai	Satuan
1	Beban Tekan	10	Newton
2	Tegangan	$5,4 \times 10^{-5}$	N/m^2

Berdasarkan perhitungan persamaan 4.1, dapat disimpulkan bahwa tegangan yang dihasilkan sebesar $5,4 \times 10^{-5} N/m^2$ dari beban tekan 10 Newton setelah dilakukan analisis dimensi alumunium profile, bahan alumunium profile dapat disimpulkan mesin CNC plotter tersebut kuat untuk proses uji fungsi dan uji hasil.

Tabel 3. Hasil perhitungan motor servo MG90S

No	Komponen	Perhitungan aktual	Datasheet	Satuan
1	Torsi	0,15	0,215	Nm
2	Daya	1,5	2,2	watt

Berdasarkan perhitungan dari persamaan 2.16 dan 2.17, dapat disimpulkan bahwa untuk memindahkan sampel dari posisi A ke posisi B dengan jarak 10 cm, dibutuhkan waktu selama 2 detik atau 2 putaran dengan kecepatan putaran sebesar 60 rpm atau 1 rps.

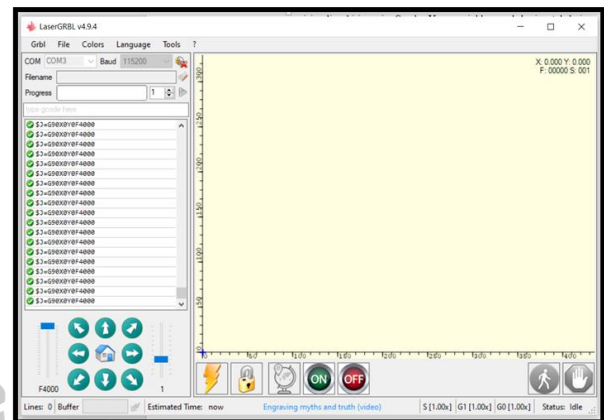
Proses Uji Fungsi



Gambar 9. Diagram Blok Uji Fungsi

- Menentukan titik koordinat 0 mesin CNC Plotter

Untuk titik koordinat 0 mesin CNC plotter, yaitu sumbu $J=G90X0Y0F4000$, untuk arah sumbu X paling kanan sebesar $J=X100Y0F4000$ sedangkan sumbu X paling kiri sebesar $J=X-100Y0F4000$, untuk arah sumbu Y paling kanan sebesar $J=X0Y170F4000$ sedangkan sumbu Y paling kiri sebesar $J=X0Y-170F4000$.



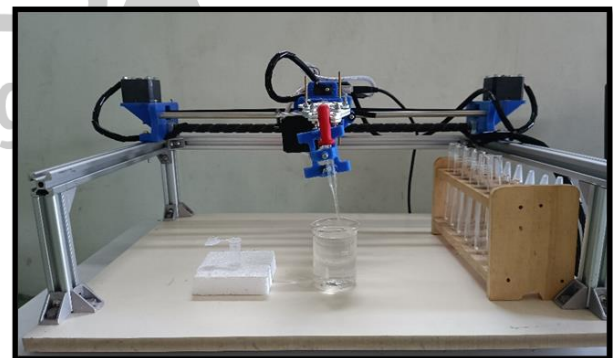
Gambar 10. Program G-Code titik 0 CNC Plotter

Tabel 4. Hasil Uji coba G-Code CNC Plotter

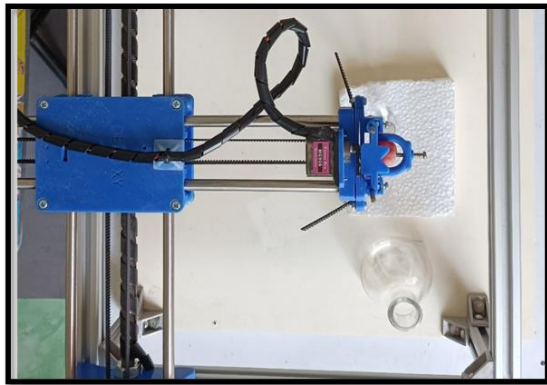
No	Sumbu	Program
1	X kanan	$J=G90X100Y0F4000$
2	X kiri	$J=G90X-91Y0F4000$
3	Y kanan	$J=G90X0Y170F4000$
4	Y kiri	$J=G90X0Y-170F4000$
5	Z atas	$J=G90X0Y170M5S0F4000$
6	Z bawah	$J=G90X0Y170M3S1F4000$

- Menempatkan tabung sampel dan gelas ukur
Tahap selanjutnya adalah menempatkan tabung sampel pada mesin CNC plotter. Tabung-tabung tersebut ditempatkan pada rak yang terdiri dari beberapa lapis, sehingga memungkinkan mesin CNC plotter untuk mengambil tabung secara otomatis dengan bantuan motor servo.

Setelah tabung sampel ditempatkan, selanjutnya adalah menempatkan gelas ukur pada mesin CNC plotter. Gelas ukur ini ditempatkan di sisi kiri finger robotic, sehingga cairan sampel yang diambil dari tabung dapat langsung dituangkan ke dalam gelas ukur.



Gambar 11. Penempatan Tabung Sampel



Gambar 12. Penempatan Gelas Ukur

- Pemrograman G-Code dan Finger Robotic

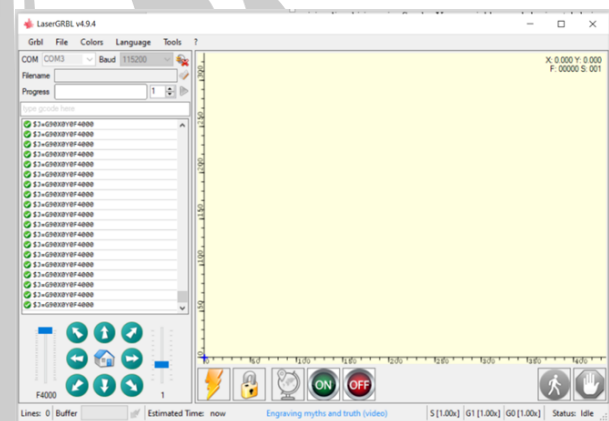
Sebelum melakukan pemrograman G-Code menggunakan software LaserGRBL sesuai dengan mapping yang sudah di titik koordinatkan. Beberapa pengaturan yang harus dikonfigurasi meliputi kecepatan maksimum, percepatan, jarak pergerakan sumbu X, Y, dan Z, serta fitur robotic. Konfigurasi firmware dapat dilakukan melalui file Configuration.h. Setelah firmware dikonfigurasi, programkan firmware ke dalam board kontrol menggunakan IDE Arduino. Setelah firmware berhasil diprogram ke board kontrol, lakukan pengujian firmware dengan menjalankan beberapa perintah G-code sederhana seperti G0 X10 Y10, G1 X10 Y10 F100, dan M03.

Perintah G-code ini berfungsi untuk menggerakkan motor dan mengaktifkan finger robotic untuk melakukan proses pengujian sampel liquid NaCl. Setelah firmware berhasil diprogram dan diuji, uji sistem finger robotic secara menyeluruh dengan menjalankan program yang lebih kompleks dan memastikan bahwa sistem berfungsi dengan sesuai dengan spesifikasi.

Setelah pemograman G-Code selesai dengan pergerakan sumbu X, Y, dan Z sudah sesuai mapping awal dilakukannya Pemograman motor SG90 untuk finger robotic. Arduino Uno adalah board microcontroller open-source yang sangat populer. Board ini bisa diprogram dengan bahasa C++ dan digunakan untuk mengendalikan berbagai jenis sensor, aktuator, dan perangkat elektronik lainnya. Salah satu aktuator yang dapat dikendalikan menggunakan Arduino Uno adalah motor SG90 (Digi-Key Electronics, 2021).

Langkah pertama, Hubungkan motor SG90 ke breadboard menggunakan kabel jumper. Kabel merah terhubung ke pin VCC, kabel coklat terhubung ke ground, dan kabel oranye terhubung ke pin sinyal (pin digital 9 pada board Arduino Uno). Setelah itu, Hubungkan board Arduino Uno

ke breadboard dengan menggunakan kabel jumper. kabel merah terhubung ke pin 5 V pada board Arduino Uno, dan kabel hitam terhubung ke pin ground pada board Arduino Uno. Langkah ketiga, Hubungkan potensiometer ke breadboard. Terdapat tiga pin pada potensiometer, yaitu pin tengah (wiper) dan dua pin ujung (terminal). Hubungkan kabel merah ke salah satu pin ujung potensiometer, kabel hitam ke pin tengah (wiper) potensiometer, dan kabel oranye ke pin ujung potensiometer yang lain. Selanjutnya, Hubungkan kabel merah dari sumber daya eksternal (seperti 9V battery) ke breadboard. Hubungkan kabel hitam dari sumber daya eksternal ke pin ground pada board Arduino Uno. Program board Arduino Uno untuk mengendalikan motor SG90.



Gambar 13. Pemograman G-Code software laser GRBL

Perhitungan Volume Cairan

Untuk menghitung volume bola cairan liquid, kita dapat menggunakan rumus persamaan (1) dengan jari jari 2 cm

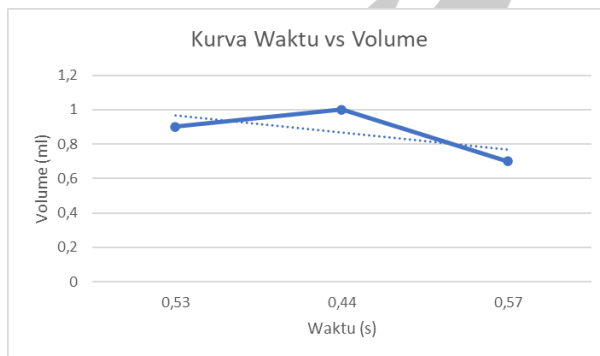
$$\begin{aligned} \text{volume bola} &= \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \\ &= \frac{4}{3} \times 3,14 \times 2^3 \\ &= \frac{4}{3} \times 3,14 \times 8 \text{ cm}^3 \\ &= 33,5 \text{ cm}^3 \end{aligned} \quad (1)$$

Jadi, volume bola cairan liquid dengan jari-jari 2 cm adalah sekitar 33,5 cm.

Hasil Uji Sampel

Tabel 5. Hasil uji sampel NaCl menggunakan delay 6 dan 10

No	Tabung sampel	Waktu (s)	Derajat	Volume Cairan(ml)
1	Uji pertama	0,53	0 dan 45	0,9
2	Uji kedua	0,44		1
3	Uji ketiga	0,57		0,7
	Rata rata	0,51		0,86

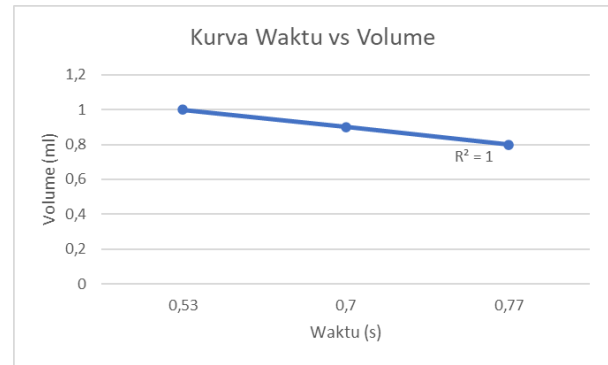


Gambar 14. Kurva Percobaan Delay 6 dan 10

Berdasarkan tiga uji coba pada tabel 4.7 waktu rata rata yang dihasilkan sebesar 0,51 detik dan volume rata rata pengambilan cairan sebesar 0,86 ml. Berdasarkan gambar 4.10 dapat disimpulkan persamaan garis regresi terbaik adalah $y = -11.017x + 6.311$ dan untuk simpangan terkecil yaitu 0.1494 ml/s.

Tabel 6. Hasil uji sampel NaCl menggunakan delay 7 dan 12

No	Tabung sampel	Waktu (s)	Derajat	Volume Cairan(ml)
1	Uji pertama	0,55	0 dan 45	1
2	Uji kedua	0,70		0,9
3	Uji ketiga	0,77		0,8
	Rata rata	2,02		0,9

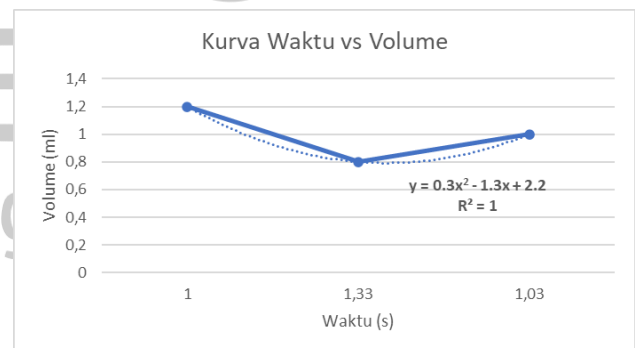


Gambar 15. Kurva Percobaan Delay 7 dan 12

Berdasarkan tiga uji coba pada tabel 6 waktu rata rata yang dihasilkan sebesar 2,02 detik volume rata rata pengambilan cairan sebesar 0,9 ml. Berdasarkan gambar 4.11 dapat disimpulkan persamaan garis regresi terbaik adalah $y = -0.784x + 1.394$ dan untuk simpangan terkecil yaitu 0.2202 ml/s.

Tabel 8. Hasil uji sampel NaCl menggunakan delay 15

No	Tabung sampel	Waktu (s)	Delay (ms)	Derajat	Volume Cairan (ml)
1	Uji pertama	1	15 dan 15	0 dan 45	1,2
2	Uji kedua	1,33			0,8
3	Uji ketiga	1,03			1
	Rata rata	1,12			2,3



Gambar 16. Kurva Percobaan Delay 15 dan 15

Berdasarkan tiga uji coba pada tabel 8 waktu rata rata yang dihasilkan sebesar 3,36 detik dan volume rata rata pengambilan cairan sebesar 2,3 ml. Berdasarkan gambar 4.12 dapat disimpulkan persamaan garis regresi terbaik adalah $y = -0.4762x + 1.5327$ dan untuk simpangan terkecil yaitu 0.270678 ml/s

Dari ketiga uji coba sampel NaCl dapat disimpulkan waktu terbaik untuk pengambilan yaitu 0,81 detik untuk pengambilan satu sampel PCR sehingga waktu tersebut sudah memenuhi standar medis yaitu 1 detik dan *delay* yang terbaik sesuai percobaan pada tabel 4.7, 4.8, dan 4.9 yaitu *delay* 7 dan 12 karena *delay* tersebut optimal dan menyesuaikan *finger robotic* untuk proses pengujian sampel infus NaCl. Untuk volume cairan yang terbaik dari tiga uji coba *delay* yaitu 0,9 ml dikarenakan untuk kapasitas volume pipet sebesar 1 ml.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik simpulan:

1. Alat *Prototype Liquid Handling System* modifikasi *CNC Plotter* dan *finger robotic* memiliki gaya sebesar 0,12 Nm. Tegangan yang dihasilkan pada aluminium profile sebesar 450 pascal.
2. Hasil uji fungsi *Prototype Liquid Handling System* berdasarkan hasil uji coba cairan infus NaCl pada mesin *CNC plotter* modifikasi *finger robotic* dengan variasi *delay* yang berbeda dan waktu (detik) juga berbeda, sehingga nilai simpangan terkecil dari ketiga pengujian tersebut, yaitu pada pengujian dengan *delay* 6 ms dan 10 ms dengan nilai 0,1494 ml/s dan volume terbaik dengan variasi *delay* yang berbeda sebesar 0,86 ml setiap pengambilan cairan infus NaCl tersebut.

Saran

1. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai performa dari rancangan mesin *CNC plotter* dan *finger robotic* ini.
2. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai kekuatan gear pada motor penggerak servo MG996R dari mesin *Liquid Handling System* modifikasi *CNC Plotter* dan *finger robotic* ini.
3. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai batas maksimal pergerakan sumbu X, Y, dan Z mesin *CNC plotter* yang telah dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, P. B. (2022, september 18). Kronologi Penjemputan Paksa Positif Covid-19 di Tasikmalaya. Republika. Retrieved from <https://republika.co.id/berita/qadn02327/kronologi-penjemputan-paksa-positif-covid19-di-tasikmalaya>
- Dewi, D. (2012, April). Transformasi Sosial Dan Nilai Agama. *Jurnal Substantia*, Vol. 14, 113-114.
- Festo. (2021). PGVA Manual.
- Ihsanuddin. (2022, September 18). Fakta Lengkap Kasus Pertama Virus Corona di Indonesia. Kompas.com. Retrieved from <https://nasional.kompas.com/read/2020/03/03/06314981/fakta-lengkap-kasus-pertama-virus-corona-di-indonesia?page=all>.
- Kong, F., & al, e. (2012). 'Automatic liquid handling for life science: A critical review of the current state of the art. *Journal of Laboratory Automation*, 17(3), 169–185. doi:10.1177/2211068211435302.
- Kotler, P. (2019). *Marketing 4.0*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Muljono, R. K. (2018). *Digital Marketing Concept*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Mulyatiningsih, E. (2012). *Metodologi Penelitian Terapan*. Yogyakarta: Alfabeta.
- Muzadin. (2022). *Perancangan automatic pipetting system dengan festo pressure vacuum generator (PCVA)*. Tugas Akhir Politeknik Jakarta.
- Najon, S. (2011). *Transformasi sebagai strategi desain* (Vols. 8, No.2). Media Matrasain.
- Perkasa, & G, C. A. (2019). *The Book Of Digital Marketing*. Makasar: Celebes Media.
- Prabowo, D. (n.d.). Rapid Test di Indonesia Berdasarkan Tracing, Beda dengan Korea Selatan. Kompas.com. Retrieved September 18, 2022, from <https://nasional.kompas.com/read/2020/04/03/12535711/rapid-test-di-indonesia-berdasarkan-tracing-beda-dengan-korea-selatan>
- Rusmanto. (2017). Jakarta: STT-NF.
- Samsuddin, M., & Budijono, A. P. (n.d.). PENGEMBANGAN SISTEM PENGGERAK MESIN PEMERAS SERBAGUNA MENGGUNAKAN METODE REVERSE ENGINEERING BERBASIS SIMULASI MENGGUNAKAN SOFTWARE FUSION.

Savitri, A. (2019). *Revolusi Industri 4.0*. Yogyakarta: Genesis.

Siswono, T. Y. (2010). *Penelitian Pendidikan Matematika*. Surabaya: Unesa University Press.

Sugiyono. (2009). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Utama, & E., I. (2014). *Pengantar Teknologi Informasi*. Yogyakarta: Budi.

Yandianto. (1997)). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Bandung: Percetakan Bandung.

