

Rancang Bangun Alat *Automatic Seeding* Untuk Kebun Hidroponik Berbasis Arduino

Riza Aprianur¹, Abdul Hamid Kurniawan², Sunu Pradana³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

abdul.hamid.kurniawan@polnes.ac.id

Abstrak- Pertanian hidroponik menjadi solusi alternatif dalam memenuhi kebutuhan pangan di tengah keterbatasan lahan. Namun, penyemaian benih secara manual pada media *rockwool* banyak membutuhkan tenaga kerja dan memakan waktu yang cukup lama. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat *automatic seeding* berbasis Arduino Mega 2560 untuk menempatkan benih secara otomatis dan presisi. Alat ini dilengkapi dengan sistem *conveyor*, *vacuum pump*, dan motor *vibration* sebagai mekanisme *pick and place* benih pada media *rockwool*. Berdasarkan pengujian, alat mampu menempatkan benih pipih dengan rata-rata keberhasilan 84,1%, yaitu 50,5 biji dari 60 lubang *rockwool*, dengan waktu 78 detik per *tray*, setara dengan 2.769 *rockwool* per jam. Konsumsi daya alat sebesar 72,615 Watt, tergolong sedang dan cocok untuk kebun hidroponik skala kecil hingga menengah. Alat ini dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi penyemaian benih serta mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, sehingga mendukung produktivitas dan keberlanjutan pertanian hidroponik.

Kata kunci: *Arduino*, *automatic seeding*, *hidroponik*, *pick and place*, *rockwool*.

I. PENDAHULUAN

Pertanian hidroponik telah berkembang menjadi salah satu pilihan yang dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan pangan Indonesia di tengah penduduk yang meningkat dan jumlah lahan pertanian yang terbatas. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), kebutuhan pangan di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan populasi yang mencapai lebih dari 270 juta jiwa pada tahun 2020 [1]. Hal ini meningkatkan tekanan pada sistem pertanian konvensional, mendorong penggunaan metode pertanian alternatif seperti hidroponik.

Hidroponik adalah metode bertani yang memanfaatkan air tanpa penggunaan tanah dan menekankan pentingnya asupan nutrisi bagi tanaman. Dalam sistem hidroponik, kebutuhan air yang diperlukan jauh lebih sedikit dibandingkan dengan metode pertanian yang menggunakan tanah sebagai media. Penggunaan air pada hidroponik lebih efisien, sehingga sangat direkomendasikan untuk diterapkan di wilayah dengan ketersediaan air yang terbatas. Di Indonesia, sistem hidroponik yang digunakan memiliki instalasi berbeda untuk setiap tahap pertumbuhan, termasuk fase penyemaian, fase pertumbuhan kembali, dan fase matang.

Ketidakstabilan dalam proses penanaman benih adalah salah satu tantangan lain yang dihadapi petani hidroponik. Untuk meningkatkan produktivitas dan memenuhi permintaan pangan yang terus meningkat, pengembangan metode hidroponik yang lebih stabil dan konsisten menjadi sangat penting. Proses penanaman bibit dilakukan dengan cara

menempatkan benih tanaman ke dalam media tanam yang berupa *rockwool* dengan menggunakan metode untuk menempatkan benih satu per satu akan membutuhkan tenaga kerja dan memakan waktu yang cukup lama. Salah satu masalah yang sering terjadi adalah penempatan benih yang tidak konsisten, yang dapat mempengaruhi hasil panen [2]. Namun, proses ini dapat dilakukan dengan kita memanfaatkan alat untuk melaksanakan pembenihan secara otomatis [3].

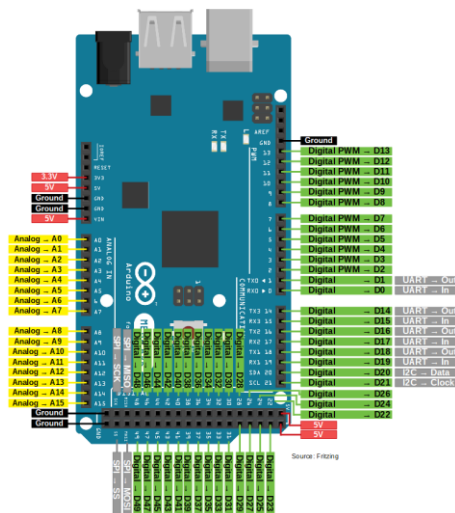
Pada tahap penempatan benih dalam media tanah dan *rockwool* terlihat perbedaan yang jelas. Untuk media tanam *rockwool*, benih perlu ditaruh dengan tepat di dalam lubang-lubang *rockwool* yang telah dibuat sebelumnya. Di sisi lain, untuk media tanah, penataan benih hanya perlu dilakukan di dalam *tray*, tanpa harus menempatkannya tepat di tengah *tray* tersebut. Oleh karena itu, sebuah alat penanaman otomatis diciptakan untuk menempatkan benih ke dalam lubang di media tanam *rockwool*. Selain itu, ada *conveyor* dan *vacuum pump* yang akan menggerakkan media tanam *rockwool* sekaligus menempatkan benih sayuran hidroponik ke dalam lubang-lubang yang telah dibuat sebelumnya dalam *rockwool*. Dengan cara ini, proses penyemaian dapat berlangsung dengan lebih cepat dan dilakukan secara otomatis.

Dengan demikian, pengembangan dan penerapan alat *automatic seeding* di kebun hidroponik tidak hanya berkontribusi pada peningkatan produktivitas pertanian, tetapi juga mendukung keberlanjutan dan ketahanan pangan di masa depan. Harapan ini dapat menjadi pilihan secara luas, memberikan manfaat bagi petani, konsumen, dan lingkungan.

II. LANDASAN TEORI

A. *Arduino Mega 2560*

Arduino Mega 2560, yang tampak pada Gambar 1, merupakan papan mikrokontroler yang memiliki 54 pin digital I/O (15 pin dapat digunakan sebagai PWM output), 16 pin analog input, USB connection, power jack DC (suplai eksternal), ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino Mega 2560 dapat beroperasi dengan menggunakan USB connection atau suplai eksternal. Suplai eksternal dapat berupa baterai atau berasal dari AC-DC adaptor. Board ini dapat beroperasi pada tegangan 6 - 20 V DC, tetapi tegangan rekomendasi berkisar antara 7 - 12 V DC. Jika tegangan kurang dari 7 V, maka suplai tegangan pada pin 5 V kemungkinan akan berkurang dan menyebabkan ketidakstabilan di papan Arduino. Jika tegangan melebihi 12 V, maka regulator tegangan akan mengalami *overheat* dan akan merusak papan Arduino [4].



Gambar 1. Konfigurasi pin Arduino Mega 2560 [4]

Berikut adalah tabel spesifikasi dari Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1
SPESIFIKASI ARDUINO MEGA 2560

Spesifikasi	Detail
Microcontroller	ATmega2560
USB-TTL converter	CH340
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (recommended)	7 - 12 V
Input Voltage (limit)	6 - 20 V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Operating temperature	-40 C°/+85 C°
Length x Width	101,52 x 53,3 mm

B. Motor Stepper

Motor *stepper* merupakan sekumpulan perangkat elektromekanis yang berfungsi mengubah sinyal elektronik menjadi gerakan fisik. Motor *stepper* beroperasi dengan mengikuti urutan sinyal yang diterima oleh motor. Agar dapat memanfaatkan motor *stepper*, diperlukan pengendali atau *driver* yang mengirimkan pulsa-pulsa secara berkala [2].

Pemilihan motor *stepper* sebagai aktuator dilakukan karena kemudahan dalam pengendaliannya serta tingkat akurasi yang sangat baik. Bentuk dari motor *stepper* dapat dilihat pada Gambar 2.

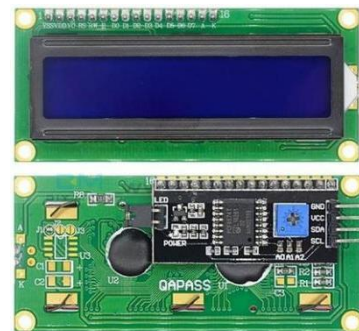
Gambar 2. Motor *stepper*

Besaran sudut rotasi per langkah merupakan aspek paling krusial dalam memilih motor *stepper* karena menentukan ukuran langkah terkecil atau resolusi gerakan. Setiap motor *stepper* memiliki karakteristik spesifik, yang mencakup 0,72° per langkah, 1,8° per langkah, 3,6° per langkah, 7,5° per langkah, 15° per langkah, hingga yang mencapai 90° per langkah. Dalam penggunaannya, kita dapat mengaplikasikan dua metode, yaitu *full step* dan *half step*. Dengan *full step*, motor *stepper* berputar sesuai dengan sudut derajat per langkah yang ditentukan, sedangkan *half step* berarti motor *stepper* bergerak setengah derajat per langkah dari spesifikasi motor yang bersangkutan [2].

C. Liquid Crystal Display (LCD)

LCD menampilkan data pada layar kecil atau panel dengan memanfaatkan satu atau lebih segmen yang mengubah penampilannya sesuai dengan tegangan AC. Tampilan ini bisa meliputi karakter alfanumerik dan/atau simbol, ikon, titik, atau piksel dalam bentuk bitmap [5].

Dapat diperhatikan pada Gambar 3 adalah modul LCD 16x2 yang menggunakan antarmuka I2C. Ini adalah modul berkualitas tinggi yang terdiri dari 2 baris dan mampu menampilkan 16 karakter. Modul ini memiliki pengaturan kontras yang bisa disesuaikan, serta dilengkapi dengan lampu latar dan interface komunikasi I2C [6].



Gambar 3. I2C serial interface 16x2 LCD module

D. Modul Driver Motor Stepper TB6600

TB6600 merupakan penggerak motor *stepper* yang mengandalkan teknologi PWM, yang diciptakan oleh perusahaan Toshiba. Alat ini dirancang untuk mengatur motor *stepper* jenis bipolar dalam berbagai mode mikrostepping hingga 1/32 langkah, memberikan pergerakan yang lebih halus dan tingkat akurasi yang tinggi. *Driver* motor TB6600 dilengkapi dengan satu arah sebagai pengatur posisi pergerakan motor *stepper* dan satu pulsa untuk mengelola reaksi kecepatan motor *stepper*. Frekuensi terendah yang dapat diproses oleh *driver* motor TB6600 adalah 50Hz, sedangkan frekuensi tertinggi yang bisa ditangani oleh *driver* ini mencapai 20 KHz [3]. Dengan rentang tegangan operasi antara 9 V hingga 42 V DC dan arus *output* yang bisa mencapai 4 A, TB6600 dapat mengatasi sejumlah ukuran motor *stepper*, dari yang kecil hingga yang sedang.

Salah satu kelebihan dari TB6600 adalah kemampuannya untuk mendukung berbagai mode mikrostepping, yaitu 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, dan 1/32. Mode-mode ini memungkinkan motor *stepper* bergerak dengan resolusi yang lebih tinggi, mengurangi

getaran, serta meningkatkan kestabilan pergerakan. Dengan adanya pengaturan arus yang dapat disesuaikan, pengguna bisa menyesuaikan kinerja motor agar sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek [7]. Bentuk dari modul *driver motor stepper* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Modul *driver stepper* TB6600

Berikut adalah tabel konfigurasi pin dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2
KONFIGURASI PIN

Nama Pin	Deskripsi
Pin 1: ENA- (ENA)	Pin ini merujuk pada pin pengaktifan negatif modul.
Pin 2: ENA+ (+5V)	Pin ini merujuk ke pin pengaktifan positif, yang merupakan pin +5 V modul.
Pin 3: DIR- (DIR)	Pin ini merujuk pada arah negatif motor.
Pin 4: DIR+ (+5V)	Pin ini merujuk ke arah positif +5 V.
Pin 5: PUL- (PUL)	Pin ini mengacu pada pulsa negatif. (Untuk mengendalikan langkah putaran motor)
Pin 6: PUL+ (+5V)	Pin ini merujuk pada pulsa positif motor.
Pin 7: B-	Pin ini merujuk ke kabel kumparan motor <i>stepper</i> dengan kabel negatif 2.
Pin 8: B+	Pin ini merujuk ke posisi kabel kumparan motor <i>stepper</i> 2.
Pin 9: A-	Pin ini merujuk pada kabel negatif kumparan motor <i>stepper</i> 1.
Pin 10: A+	Pin ini merujuk ke kabel kumparan motor <i>stepper</i> dengan kabel positif 1.
Pin 11: GND	Pin ini merujuk pada koneksi <i>ground</i> umum modul.
Pin 12: VCC	Pin ini merujuk pada tegangan pasokan <i>input</i> untuk modul <i>driver motor stepper</i> , yaitu 9 V - 42 V.

E. Vacuum Pump Diafragma 12 V

Pompa vakum diafragma, tampak pada Gambar 5, adalah jenis pompa perpindahan positif (*positive displacement pump*) yang menggunakan membran elastis (diafragma) untuk menciptakan perbedaan tekanan dalam ruang pompa, sehingga memungkinkan cairan atau gas berpindah dari satu sisi ke sisi lain. Pompa ini bekerja dengan menggerakkan diafragma maju mundur, sehingga menghasilkan efek hisap dan dorong tanpa perlu pelumas ataupun kontak langsung antara fluida dengan komponen mekanis. cocok digunakan untuk fluida yang korosif, sensitif, atau memerlukan kebersihan tinggi. Kelebihan lainnya meliputi kemampuan *self-priming*, kemampuan menangani fluida dengan viskositas tinggi, serta keandalan dalam pengoperasian jangka panjang tanpa banyak perawatan [8].



Gambar 5. Vacuum pump diafragma

Berikut adalah tabel spesifikasi dari *vacuum pump* dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3
SPESIFIKASI VACUUM PUMP

Spesifikasi	Detail
Working Voltage	DC 12 V
Power	0,05 KW
Ultimate Pressure	-50 KPa
Maximum Vacuum	> 70 KPa
Rate of Flow	180 m3/h
No-load Flow	> 9 LPM
Noise	Less than 75 dB

F. Mini Coreless Vibration Motor

Coreless vibration motor adalah jenis motor getar kecil yang menggunakan rotor tanpa inti besi (*coreless*) untuk menghasilkan getaran mekanis. Desain ini menghilangkan penggunaan inti besi dalam armatur, sehingga menghasilkan komponen rotasi yang ringan dan responsif. Hal ini memungkinkan motor untuk memiliki waktu respons yang cepat selama percepatan, meningkatkan efisiensi operasionalnya [9]. Bentuk fisik dari *mini coreless vibration motor* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Vibration motor

G. Module Relay

Relay berfungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik yang terpisah. Relai memanfaatkan tegangan rendah atau arus rendah untuk mengatur tegangan yang lebih tinggi dan/atau arus yang lebih besar [10].

Kapasitas operasional sebuah *relay* bervariasi berdasarkan merek dan tipe *relay* tersebut. Modul *relay* pada Gambar 7 mampu mengatasi beban arus sekitar 10 A dengan tegangan berkisar antara 125 V AC hingga 250 V AC serta tegangan 28 V DC hingga 30 V DC.



Gambar 7. Module relay

H. Switch Mode Power Supply (SMPS) AC – DC

Switch Mode Power Supply (SMPS) adalah jenis catu daya yang bekerja dengan memanfaatkan teknik *switching* berfrekuensi tinggi untuk mengubah dan menstabilkan tegangan listrik secara efisien. Berbeda dengan catu daya linear yang menurunkan tegangan dengan membuang kelebihan energi dalam bentuk panas, SMPS menawarkan efisiensi yang jauh lebih tinggi. Selain itu, metode ini juga lebih fleksibel dan mampu beradaptasi terhadap perubahan beban maupun tegangan *input*. Pada umumnya, SMPS menggunakan IC atau transistor seperti MOSFET sebagai komponen pengendali utama untuk menjaga agar tegangan *output* tetap stabil.

Salah satu keunggulan utama dari *Switch Mode Power Supply* (SMPS) pada Gambar 8 adalah efisiensinya yang tinggi, dengan kisaran efisiensi antara 70% hingga 95%. Angka ini jauh melampaui efisiensi catu daya linear, yang umumnya tidak melebihi 50%. Efisiensi yang lebih tinggi ini berdampak pada konsumsi daya yang lebih rendah serta produksi panas yang lebih minim. Selain itu, SMPS juga memiliki dimensi yang lebih ringkas dan biaya produksi yang relatif lebih terjangkau dibandingkan catu daya linear. Meskipun demikian, SMPS tidak lepas dari kekurangan, seperti munculnya transien *switching* dan gangguan *noise* yang dihasilkan [11].



Gambar 8. Switch mode power supply (SMPS)

I. Buck Converter

Buck converter merupakan tipe konverter daya DC – DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan masuk ke tingkat yang lebih rendah. Komponen ini sangat krusial dalam sistem elektronika daya, khususnya pada situasi di mana diperlukan pengurangan tegangan secara efisien dari satu tingkatan ke tingkat yang lebih rendah.

Buck converter beroperasi dengan cara mengatur proses hidup dan matinya transistor atau sakelar pada frekuensi tinggi. Saat sakelar dalam kondisi aktif, energi listrik akan disimpan terlebih dahulu dalam komponen induktor. Sebaliknya, ketika sakelar dinonaktifkan, energi yang telah tersimpan tersebut dialirkan ke beban melalui sebuah *diode*. Tegangan *output* yang dihasilkan dipengaruhi oleh rasio lamanya sakelar antara menyala dengan total periode *switching*, yang dikenal sebagai *duty cycle*. Tampilan *buck converter* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Buck converter

J. Belt dan Pulley

Belt dan *pulley* pada Gambar 10 merupakan elemen mekanis yang umum dipakai secara bersamaan dalam berbagai alat serta mesin. *Belt* berfungsi untuk mengalihkan tenaga dari satu poros ke poros yang lain. Di sisi lain, *pulley* adalah roda yang memiliki alur dan bekerja bersama *belt* untuk mentransfer daya. *Pulley* berfungsi berputar saat *belt* melingkar di sekitarnya, memindahkan gerakan serta energi mekanis dari satu poros ke poros lainnya.



Gambar 10. Belt dan pulley

K. Push Button

Push button atau tombol tekan adalah komponen saklar mekanik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik ketika ditekan. *Push button* bekerja berdasarkan prinsip mekanis di mana saat tombol ditekan, kontak di dalamnya akan berubah dari kondisi terbuka (*open*) menjadi tertutup (*closed*), atau sebaliknya, tergantung pada jenis tombolnya. *Push button* dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, di antaranya, *normally open* (NO) yaitu kontak akan tertutup saat tombol ditekan dan *normally closed* (NC) yaitu kontak akan terbuka saat tombol ditekan. Berikut pada Gambar 11 adalah tampilan fisik dari sebuah *push button*.



Gambar 11. Push button

L. Daya Listrik

Daya listrik merupakan ukuran yang mengindikasikan kecepatan energi listrik digunakan oleh suatu beban dalam rangkaian. Perangkat yang terhubung dengan energi listrik akan mengonsumsi energi tersebut [12]. Daya listrik dapat ditentukan dengan mengalikan voltase (V) dan intensitas arus (I) yang bergerak dalam sirkuit, dengan persamaan:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1)$$

P = Daya listrik
V = Tegangan listrik
I = Arus listrik

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

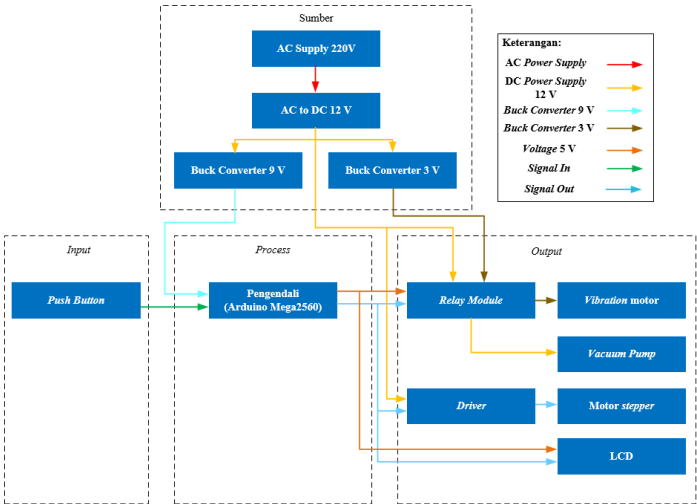
Lokasi yang gunakan dalam melaksanakan rancang bangun alat *automatic seeding* berbasis arduino ini berada di lokasi Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda dan kebun Mahakam Hydro Culture sebagai lokasi pembuatan alat serta pengujian hasil pembuatan alat yang telah terintegrasi.

B. Jenis Data dan Sumber Data

Pada perancangan ini, peneliti memanfaatkan dua kategori data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah informasi yang diperoleh secara langsung dari sumber melalui cara seperti observasi, survei, atau pengujian. Sementara itu, data sekunder adalah informasi yang telah dikumpulkan sebelumnya oleh individu atau institusi lain untuk maksud yang berbeda, peneliti menggunakan jenis data ini untuk analisis dalam perancangan ini, yang bersumber dari buku, jurnal, makalah, serta situs web.

C. Gambaran Umum

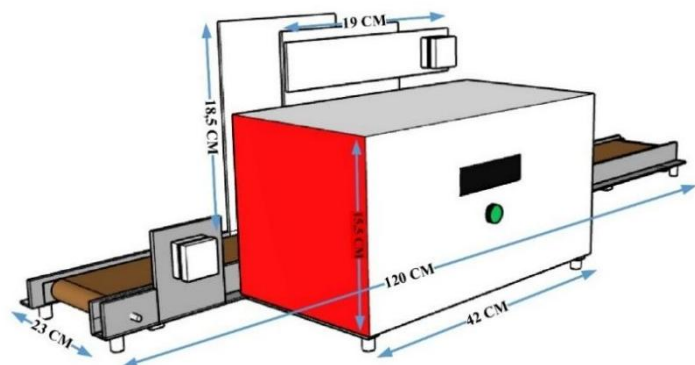
Gambaran umum suatu sistem adalah representasi secara keseluruhan dari sistem yang akan dibuat. Deskripsi umum ini digunakan untuk menggambarkan proses kerja sistem serta mempermudah dalam merancang perangkat. Berikut pada Gambar 12 ini adalah gambaran umum mengenai desain alat *Automatic Seeding* yang akan dirancang ini menggunakan *push button* sebagai *input* yang akan mengaktifkan sistem dan memulai penyemaian melalui pengendali Arduino mega 2560 yang akan mengirimkan sinyal keluar menuju motor *stepper* sebagai penggerak *conveyor* dan jarum *seeder* melalui *driver* TB6600. Serta *relay module* sebagai sakelar untuk mengaktifkan *vacuum pump* dan motor *vibration* dan LCD digunakan untuk menampilkan data jumlah siklus penyemaian yang telah dilakukan oleh alat.



Gambar 12. Gambaran umum sistem

D. Desain Alat

Perancangan perangkat dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan sistem untuk melaksanakan penanaman benih secara otomatis. Dalam desain ini, menampilkan bentuk body dari alat yang akan dirakit. Prototipe dari alat yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Desain alat Automatic Seeding

E. Peralatan dan Material

Peralatan dan material yang digunakan untuk merancang sistem *automatic seeding* berbasis Arduino akan diuraikan dalam bentuk tabel. Berikut adalah daftar peralatan dan material pada Tabel 4. dan daftar perangkat lunak yang digunakan pada Tabel 5.

TABEL 4
DAFTAR PERALATAN DAN MATERIAL

No	Peralatan	material
1	Laptop	Arduino Mega 2560 R3
2	Kunci pas	Motor stepper Nema 17
3	Gergaji Besi	LCD 16x2 I2C
4	Tang	Timing Pulley GT2
5	Solder	Timing Belt GT2
6	Obeng	Belt
7	Bor Listrik	Driver motor stepper TB6600
8	Gerinda	Buck Converter
9	Penyedot Timah	Vacuum pump 12 V
10		Mini coreless vibration motor
11		Jarum suntik
12		Push button
13		SMPS 12 V
14		Terminal blok 2 pin
15		Papan PCB
16		Spacer
17		Akrilik
18		Aluminium Composite Panel (ACP)
19		Pipa ½ inci
20		Besi Siku
21		Male Hose Nipple
22		Bearing 607
23		Bearing 627Z
24		Bearing 608
25		As Drat M10
26		Jarum Suntik
27		Mur/baut
28		Lem akrilik
29		Fluks solder
30		Kabel Jumper
31		Kabel NYAF 1 x 0,75 mm

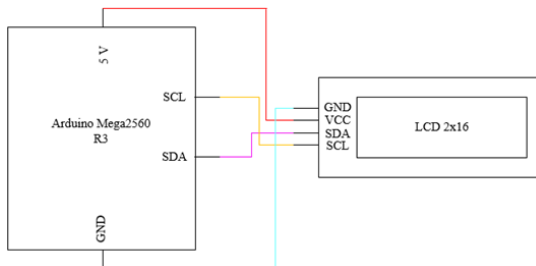
TABEL 5
DAFTAR PERANGKAT LUNAK

No	Perangkat Lunak
1	Arduino IDE
2	Visio
3	Microsoft Word
4	Fritzing
5	Circuit Designer IDE

F. Desain Perancangan Rangkaian

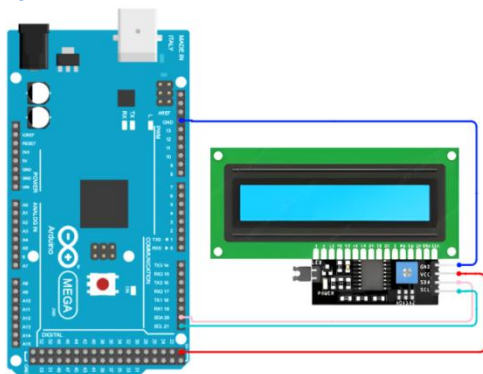
1) Desain Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560 ke LCD 16×2

Layar LCD 2×16 berfungsi untuk menunjukkan informasi secara visual. Layar ini mampu menampilkan total 32 karakter, yang terpisah dalam dua baris, dengan setiap baris menampung 16 karakter. Diagram skema penghubungan layar LCD 2×16 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 14. Keterhubungan antara Arduino Mega2560 R3 dengan LCD 2×16 berbasis modul I2C yang berfungsi untuk menampilkan data pada layar LCD melalui komunikasi I2C. Pada rangkaian tersebut, pin VCC pada LCD dihubungkan ke pin 5 V Arduino untuk memberikan catu daya, sedangkan pin GND pada LCD dihubungkan ke pin GND Arduino sebagai jalur *ground* bersama. Selanjutnya, pin SDA pada LCD dihubungkan ke pin SDA Arduino Mega2560 sebagai jalur pengiriman dan penerimaan data, sedangkan pin SCL pada LCD dihubungkan ke pin SCL Arduino sebagai jalur *clock* yang berfungsi untuk sinkronisasi data.



Gambar 14. Diagram rangkaian Arduino Mega 2560 ke LCD 2×16

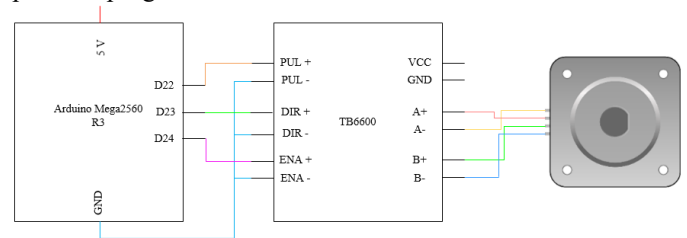
Gambar wiring diagram diperlukan untuk memberikan gambaran visual mengenai jalur perkabelan dan hubungan antar komponen dalam rangkaian alat yang dibuat. Wiring diagram layar LCD 2×16 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Wiring diagram Arduino Mega 2560 ke layar LCD 2×16

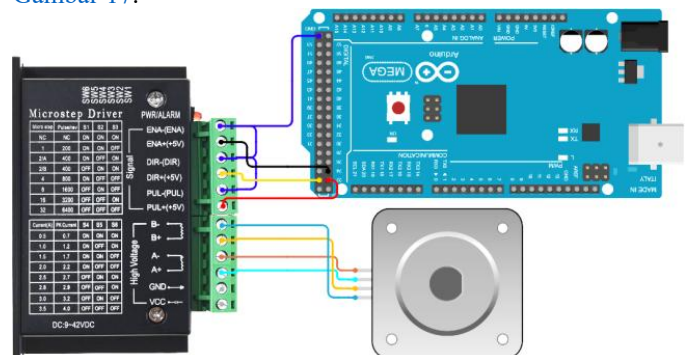
2) Desain Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560 ke Modul Driver TB6600 Sebagai Conveyor

Agar dapat mengendalikan motor *stepper* pada *conveyor*, diperlukan *driver* TB6600. Diagram skema penghubungan modul *driver* TB6600 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 16. Keterhubungan antara Arduino Mega2560 R3, driver *stepper* TB6600, dan motor *stepper* yang berfungsi agar Arduino dapat mengendalikan arah, kecepatan, serta aktivasi motor melalui driver. Pada rangkaian ini, pin D22 Arduino dihubungkan ke PUL+ pada TB6600 dan PUL- terhubung ke GND Arduino sebagai jalur sinyal pulsa yang menentukan jumlah langkah motor. Pin D23 Arduino dihubungkan ke DIR+ dan DIR- terhubung ke GND Arduino untuk menentukan arah putaran motor, sedangkan pin D24 dihubungkan ke ENA+ dan ENA- terhubung ke GND Arduino sebagai pengendali *enable* yang berfungsi mengaktifkan atau menonaktifkan motor. Selanjutnya, terminal A+ dan A- pada TB6600 dihubungkan ke kumparan A motor *stepper*, sedangkan terminal B+ dan B- dihubungkan ke kumparan B motor *stepper* sehingga arus dapat mengalir dan menghasilkan rotasi. Sementara itu, VCC dan GND pada TB6600 dihubungkan ke sumber daya eksternal sesuai spesifikasi motor untuk menyediakan catu daya. Dengan konfigurasi ini, Arduino hanya mengirimkan sinyal logika, sedangkan TB6600 berperan mengatur arus yang lebih besar sehingga motor *stepper* dapat berputar dengan presisi sesuai perintah program.



Gambar 16. Diagram rangkaian Arduino Mega 2560 ke modul *driver* TB6600

Gambar wiring diagram diperlukan untuk memberikan gambaran visual mengenai jalur perkabelan dan hubungan antar komponen dalam rangkaian alat yang dibuat. Wiring diagram modul *driver* TB6600 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 17.

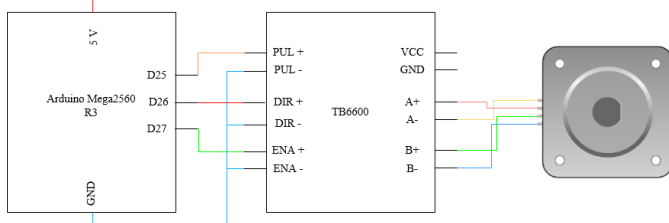


Gambar 17. Wiring diagram Arduino Mega 2560 ke modul *driver* TB6600

3) Desain Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560 ke Modul Driver TB6600 Sebagai Seeder

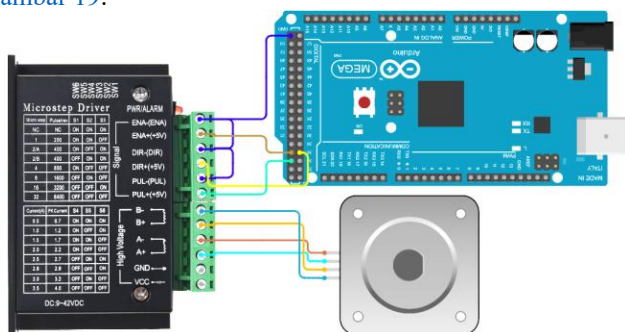
Agar dapat mengendalikan motor *stepper* pada *seeder*, diperlukan *driver* TB6600. Diagram skema penghubungan

modul driver TB6600 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 18. Keterhubungan antara Arduino Mega2560 R3, driver stepper TB6600, dan motor stepper yang berfungsi agar Arduino dapat mengendalikan arah, kecepatan, serta aktivasi motor melalui driver. Pada rangkaian ini, pin D25 Arduino dihubungkan ke PUL+ pada TB6600 dan PUL- terhubung ke GND Arduino sebagai jalur sinyal pulsa yang menentukan jumlah langkah motor. Pin D26 Arduino dihubungkan ke DIR+ dan DIR- terhubung ke GND Arduino untuk menentukan arah putaran motor, sedangkan pin D27 dihubungkan ke ENA+ dan ENA- terhubung ke GND Arduino sebagai pengendali enable yang berfungsi mengaktifkan atau menonaktifkan motor. Selanjutnya, terminal A+ dan A- pada TB6600 dihubungkan ke kumparan A motor stepper, sedangkan terminal B+ dan B- dihubungkan ke kumparan B motor stepper sehingga arus dapat mengalir dan menghasilkan rotasi. Sementara itu, VCC dan GND pada TB6600 dihubungkan ke sumber daya eksternal sesuai spesifikasi motor untuk menyediakan catu daya.



Gambar 18. Diagram rangkaian Arduino Mega 2560 ke modul driver TB6600

Gambar wiring diagram diperlukan untuk memberikan gambaran visual mengenai jalur perkabelan dan hubungan antar komponen dalam rangkaian alat yang dibuat. Wiring diagram modul driver TB6600 dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 19.

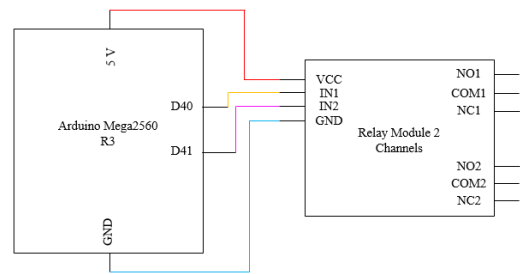


Gambar 19. Wiring diagram Arduino Mega 2560 ke modul driver TB6600

4) Desain Perancangan Rangkaian Arduino Mega 2560 ke Modul Relay

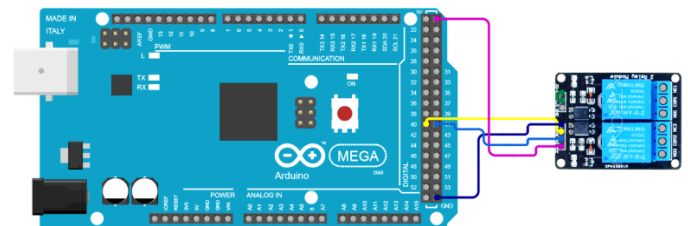
Untuk dapat menyalakan pompa vakum dan motor *vibration*, diperlukan modul *relay* yang berfungsi sebagai sakelar elektronik. Gambar 20 menunjukkan diagram skema penghubungan modul *relay* dengan Arduino Mega 2560. Keterhubungan antara Arduino Mega2560 R3 dengan modul *relay* 2 channel yang berfungsi sebagai sakelar elektronik untuk mengendalikan perangkat listrik atau komponen dengan daya lebih tinggi. Pada rangkaian ini, pin 5 V Arduino dihubungkan ke VCC pada *relay* sebagai catu daya, sedangkan pin GND Arduino dihubungkan ke GND *relay* sebagai *ground* bersama. Pin D40 Arduino dihubungkan ke IN1 pada *relay* untuk

mengendalikan motor *vibration*, sementara pin D41 dihubungkan ke IN2 pada *relay* untuk mengendalikan pompa vakum.



Gambar 20. Diagram rangkaian Arduino Mega 2560 ke modul *relay*

Gambar wiring diagram diperlukan untuk memberikan gambaran visual mengenai jalur perkabelan dan hubungan antar komponen dalam rangkaian alat yang dibuat. Wiring diagram modul *relay* dengan Arduino Mega 2560 terlihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Wiring diagram Arduino Mega 2560 ke modul *relay*

G. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Perancangan perangkat lunak bertujuan untuk memperoleh pemahaman menyeluruh terhadap alur kerja sistem yang akan dijalankan. Melalui proses ini, penulis dapat lebih mudah mengenali serta mengevaluasi kemungkinan permasalahan yang dapat terjadi selama sistem dioperasikan, khususnya yang berkaitan dengan performa komponen yang digunakan.

1) Diagram Alir Program

Diagram alir program dari sistem alat automatic seeding yang dirancang ini berfungsi sebagai panduan visual yang menggambarkan urutan langkah-langkah logis yang dijalankan oleh mikrokontroler, mulai dari inisialisasi awal hingga proses penyemaian selesai dilakukan secara otomatis. Dengan adanya diagram alir ini, alur kerja program menjadi lebih mudah dipahami dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses pemrograman, *debugging*, maupun perawatan sistem di kemudian hari.

Tahapan awal dimulai dengan simbol *start*, yang menandakan titik permulaan eksekusi program. Pada tahap ini, sistem akan melakukan inisialisasi pustaka atau *library* yang dibutuhkan. Pustaka ini memuat fungsi-fungsi tambahan yang tidak tersedia secara bawaan di dalam Arduino IDE, seperti pengendalian LCD I2C, pengaturan *driver* motor *stepper*, serta pengelolaan *input / output* lainnya. Selanjutnya dilakukan inisialisasi variabel, yaitu proses mendefinisikan dan memberikan nilai awal pada variabel-variabel yang digunakan untuk menyimpan data sementara selama program berjalan. Variabel ini dapat mencakup data status tombol, penghitung jumlah siklus, maupun parameter pengaturan komponen. Selain itu, deklarasi fungsi juga dilakukan di tahap ini. Deklarasi

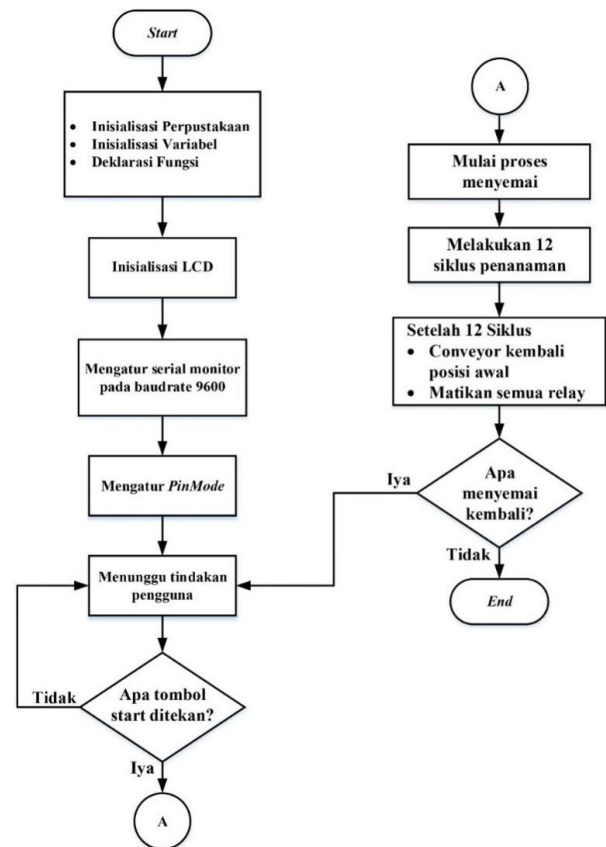
fungsi bertujuan memberi tahu program tentang nama, parameter, dan peran dari setiap fungsi yang akan digunakan.

Setelah semua pustaka, variabel, dan fungsi siap, sistem masuk ke tahap inisialisasi LCD. LCD berperan sebagai antarmuka visual yang memberikan informasi kepada pengguna, seperti status sistem, jumlah siklus yang telah dijalankan, maupun pesan peringatan jika terjadi kesalahan. Kemudian, sistem melakukan pengaturan serial monitor pada *baudrate* 9600. Serial monitor digunakan untuk menampilkan data atau log aktivitas sistem secara langsung di komputer selama proses pengujian dan pemantauan, sehingga memudahkan proses analisis kinerja alat. Tahap berikutnya adalah pengaturan pinmode, di mana setiap pin pada Arduino Mega2560 dikonfigurasi apakah berperan sebagai *input* atau *output*. Pin yang terhubung ke tombol *start* diatur sebagai *input*, sementara pin yang terhubung ke *driver motor stepper* atau *relay* diatur sebagai *output*.

Setelah semua inisialisasi selesai, sistem masuk ke tahap menunggu tindakan pengguna. Pada tahap ini, sistem berada dalam keadaan siaga (*idle*) dan hanya memantau status tombol *start*. Jika tombol belum ditekan, program tidak akan melanjutkan ke tahap berikutnya, melainkan tetap berada pada kondisi menunggu. Namun, ketika tombol *start* ditekan, sistem akan beralih ke tahap aktivasi sistem. Aktivasi ini mencakup persiapan seluruh komponen yang akan digunakan,

Selanjutnya, program akan melakukan 12 siklus penanaman secara otomatis. Setiap siklus mencakup serangkaian aksi motor *stepper* pada *conveyor* menggerakkan *tray* menuju posisi yang tepat, motor *stepper* pada mekanisme jarum *seeder* menggerakkan ke arah tempat benih, *vacuum pump* menyedot benih, motor vibrator membantu agar benih tidak menggumpal, dan jarum *seeder* menempatkan benih ke dalam lubang media tanam *rockwool*.

Setelah penghitung siklus mencapai angka 12, program masuk ke tahap penutupan proses. Pada tahap ini, *conveyor* digerakkan kembali ke posisi awal untuk memudahkan penggantian *tray* atau media tanam baru. Seluruh *relay* yang mengendalikan *vacuum pump* dan *vibration motor* kemudian dimatikan, sehingga tidak ada komponen yang terus beroperasi tanpa perlu. Akhirnya, program mencapai titik *End*, yang menandakan bahwa seluruh proses telah selesai, dan sistem kembali siap untuk menjalankan siklus baru apabila diminta oleh pengguna. Diagram lengkap dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Diagram alir program

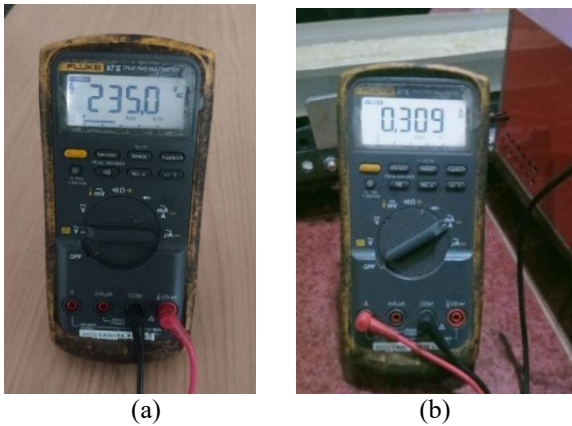
IV. PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang uji coba yang bertujuan untuk memastikan bahwa bagian atau sistem yang dipakai bisa berfungsi dengan baik dan menilai kelemahan yang ditemukan. Ada beberapa uji coba yang dilaksanakan dalam proses pembuatan alat ini, yaitu:

1. Perhitungan konsumsi daya.
2. Pengujian *power supply*.
3. Pengujian *buck converter*.
4. Pengujian modul *driver TB6600* dan motor *stepper*.
5. Pengujian penempatan benih pada media tanam *rockwool*.

A. Perhitungan Konsumsi Daya

Perhitungan konsumsi daya dilakukan untuk mengetahui besar daya yang digunakan oleh sistem pada saat beroperasi. Dengan mengetahui nilai tegangan dan arus yang mengalir pada beban, maka besar konsumsi daya dapat ditentukan. Informasi ini sangat penting untuk memperkirakan daya yang dibutuhkan oleh alat tersebut. Berdasarkan Gambar 23 yang memperlihatkan data pengukuran diperoleh arus sebesar 0,309 A, maka daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.



Gambar 23. Hasil pengukuran (a) tegangan dan (b) arus

Diketahui:

$$V = 235 \text{ Volt}$$

$$I = 0,309 \text{ Ampere}$$

Dicari $P = \dots?$

Maka:

$$P = V \times I$$

$$P = 235 \times 0,309$$

$$P = 72,615 \text{ Watt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, daya konsumsi alat sebesar 72,615 Watt tergolong dalam kategori sedang, karena nilai tersebut masih berada pada rentang wajar untuk sistem automatic seeding pada pertanian hidropnik skala kecil hingga menengah. Nilai daya ini menunjukkan bahwa alat bekerja secara efisien tanpa memerlukan konsumsi daya yang tinggi.

B. Pengujian Power Supply

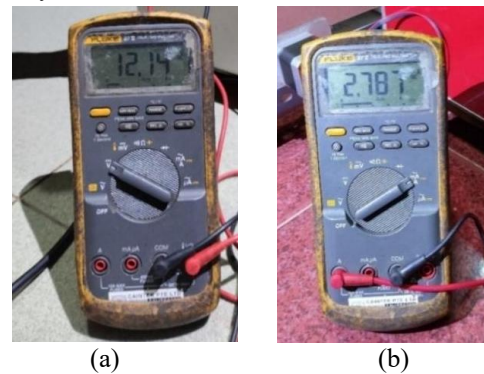
Pada pengujian catu daya ini, akan dilakukan pemberian beban pada power supply. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur tegangan keluaran yang dihasilkan yang ditunjukkan pada Gambar 24. Sesuai dengan spesifikasi yang terdapat pada power supply, arus maksimum yang dapat dihasilkan adalah 10 Ampere dengan tegangan 12 Volt. Dari pengujian ini, diperoleh nilai tegangan keluaran tanpa beban sebesar 12,14 Volt DC.



Gambar 24. Pengujian tanpa beban

Pada saat dilakukan pengujian dengan pemberian beban yang ditunjukkan pada Gambar 25, tegangan keluaran *power supply* tetap berada pada nilai yang sama seperti kondisi tanpa beban yaitu 12,14 Volt dan arus 2,787 Ampere, menunjukkan

kemampuan pengaturan tegangan yang sangat baik dan stabilitas daya keluaran.

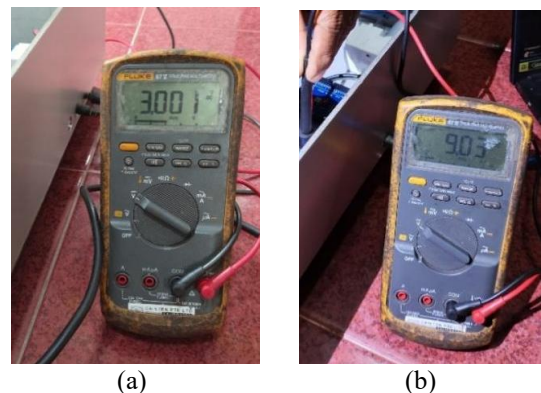


Gambar 25. Pengujian berbeban (a) tegangan dan (b) arus

C. Pengujian Buck Converter

1) Pengujian Tanpa Beban

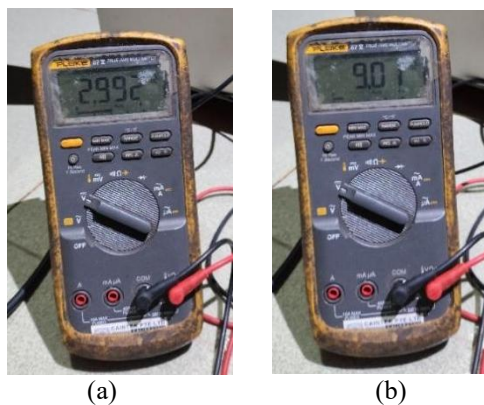
Pengujian *buck converter* tanpa adanya beban dilaksanakan sebagai langkah pertama untuk menilai kinerja dasar dari rangkaian penurun tegangan. Di fase ini, *buck converter* dijalankan tanpa menghubungkan beban luar untuk mengamati stabilitas serta ketepatan tegangan keluaran terkait dengan tegangan input yang diberikan.

Gambar 26. Pengujian *buck converter* tanpa beban (a) 3 Volt dan (b) 9 Volt

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 26 yang telah dilakukan, pembacaan nilai pada multimeter menunjukkan angka 3,001 Volt yang digunakan sebagai sumber vibration motor dan 9,003 Volt yang berfungsi sebagai sumber Arduino Mega 2560. Pengujian ini menunjukkan bahwa tegangan keluaran dari *buck converter* tetap stabil saat tidak ada beban.

2) Pengujian Dengan Beban Sistem Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 27, tegangan keluaran pada *buck converter* menunjukkan penurunan kecil saat dalam kondisi beban. Tegangan awal yang tercatat 3,001 V turun menjadi 2,992 V, sementara tegangan 9,03 V turun menjadi 9,01 V. Penurunan ini masih berada dalam tingkat toleransi yang diperbolehkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa *buck converter* mampu mengatur tegangan dengan baik dan mempertahankan stabilitas keluaran meskipun dalam keadaan berbeban.



Gambar 27. Pengujian buck converter berbeban (a) 3 volt dan (b) 9 volt

D. Pengujian Modul Driver TB6600 dan Motor Stepper

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan modul pengendali TB6600 ke motor *stepper* untuk melakukan kontrol. Dari hasil pengujian ini, diperoleh informasi mengenai arus puncak saat motor *stepper* beroperasi dengan muatan berupa tray semai pada conveyor dan jarum seeder sebesar 0,723 Ampere yang ditampilkan dalam Gambar 28, serta dapat disimpulkan bahwa motor *stepper* yang digunakan memiliki kemampuan untuk memutar beban tersebut.

Gambar 28. Arus maksimum motor *stepper* dengan beban tray semai pada conveyor dan jamur seeder

Motor *stepper* dipilih dibandingkan jenis motor lain seperti motor DC atau motor servo karena kemampuannya menghasilkan gerakan yang presisi berdasarkan jumlah langkah (*step*) yang dapat dikontrol langsung melalui sinyal digital. Karakteristik ini sangat sesuai untuk sistem penanaman benih otomatis yang memerlukan posisi dan pergerakan yang konsisten dan berulang.

E. Pengujian Keseluruhan

Dalam uji coba ini, digunakan rockwool yang telah dipotong menjadi bentuk kotak, dan kemudian diletakkan di dalam tray semai. Jumlah potongan rockwool yang ada di tray semai mencapai 60 potong, masing-masing berukuran 2,5 x 2 x 2 cm. Setelah itu, tray yang berisi potongan rockwool ini ditempatkan di area conveyor. Percobaan ini dilakukan sebanyak 10 kali dengan tujuan untuk melihat apakah setiap benih sayuran yang digunakan bisa masuk tepat satu benih ke dalam lubang pada rockwool yang telah tersedia, menggunakan benih yang berbentuk pipih. Tabel 6 menunjukkan hasil keseluruhan dari pengujian sistem pada tray yang berisi 60 potongan rockwool.

TABEL 6
HASIL PENGUJIAN KESELURUHAN

Pengujian	Benih Pipih				Waktu (detik)
	Isi 0	Isi 1	Isi 2	Meleset	
1	3	51	5	1	78
2	2	49	6	3	78
3	2	50	6	2	78
4	3	51	5	1	78
5	2	51	7	0	78
6	4	50	3	3	78
7	2	50	6	1	78
8	0	52	7	1	78
9	2	50	7	1	78
10	3	51	5	2	78
Rata-rata	2,3	50,5	5,7	1,5	78

Berdasarkan data yang terdapat dalam Tabel 6, diperoleh bahwa rata-rata jumlah benih yang berhasil ditanam satu biji ke dalam 60 lubang rockwool adalah 50,5 biji. Persentase keberhasilan penanaman satu biji benih pada 60 lubang rockwool untuk benih pipih tercatat mencapai 84,1%. Untuk meningkatkan peluang dalam pengambilan benih pipih, diperlukan uji coba mengenai ukuran jarum dan modifikasi tekanan vacuum agar persentase pengambilan benih pipih dapat lebih baik. Lama waktu yang dibutuhkan untuk proses penyemaian 60 potong rockwool dalam tray dari awal hingga selesai adalah 78 detik, yang setara dengan ± 2.769 potong rockwool dalam satu jam. Jumlah jarum suntik pada alat ini masih bisa ditambahkan, menunjukkan bahwa alat ini memiliki potensi kapasitas yang lebih tinggi untuk proses penyemaian.

Sebagai Perbandingannya pengujian dilakukan dengan metode manual tanpa menggunakan alat bantu seperti pinset. Berikut pada Tabel 7 adalah hasil penyemaian menggunakan metode manual.

TABEL 7
HASIL PENGUJIAN MANUAL

Pengujian	Benih Pipih				Waktu (detik)
	Isi 0	Isi 1	Isi 2	Meleset	
1	0	56	4	0	118
2	0	54	6	0	121
3	1	55	4	0	120
4	0	56	4	0	118
5	1	53	6	0	122
6	0	55	5	0	120
7	0	54	6	0	120
8	1	53	6	0	119
9	1	54	5	0	121
10	1	54	5	0	123
Rata-rata	0,5	54,4	5,1	0,0	120,2

Berdasarkan data yang terdapat dalam Tabel 7, diperoleh bahwa rata-rata jumlah benih yang berhasil ditanam satu biji ke dalam 60 lubang rockwool adalah 54,4 biji. Persentase keberhasilan penanaman satu biji benih pada 60 lubang rockwool untuk benih pipih tercatat mencapai 90,7%. Lama waktu yang dibutuhkan untuk proses penyemaian 60 potong

rockwool dalam *tray* dari awal hingga selesai adalah 120,2 detik, yang setara dengan ± 1.800 potong *rockwool* dalam satu jam.

Metode manual ini menunjukkan ketelitian yang tinggi, namun relatif kurang efisien dari segi waktu dibandingkan dengan penggunaan alat otomatis. Selain itu, jika proses manual dilakukan dalam durasi yang lama, potensi terjadinya *human error* cenderung meningkat akibat faktor kelelahan, penurunan konsentrasi, maupun kejenuhan, sehingga konsistensi hasil penyemaian menjadi lebih sulit dipertahankan.

F. Hasil Setelah Penyemaian

Pengamatan dilakukan secara berkala untuk melihat perkembangan benih dari hari ke hari. Berikut merupakan hasil pengamatan yang diperoleh setelah beberapa hari penyemaian.

1) Hasil Setelah 4 Hari Penyemaian

Pada hari ke-4 setelah penyemaian, tampak pada Gambar 29 sebagian besar benih sudah mulai menunjukkan tanda-tanda perkecambahan. Akar primer mulai muncul dan menembus media *rockwool*, sedangkan batang kecambah tampak masih kecil dan rapuh.



Gambar 29. Hasil setelah 4 hari semai

2) Hasil Setelah 10 Hari Penyemaian

Memasuki hari ke-10, tampak pada Gambar 30, pertumbuhan tanaman terlihat semakin signifikan. Sebagian besar tanaman sudah memiliki daun sejati pertama yang mulai berkembang dengan warna hijau segar. Akar yang tumbuh semakin panjang dan kuat menembus media *rockwool* sehingga memberikan stabilitas pada tanaman muda. Secara umum, pada hari ke-10 hasil penyemaian menunjukkan tingkat keberhasilan yang cukup baik, dimana bibit sudah siap untuk tahap selanjutnya yaitu pemindahan ke sistem hidroponik utama.



Gambar 30. Hasil setelah 10 hari semai

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian alat Automatic Seeding untuk kebun hidroponik berbasis Arduino, dapat disimpulkan beberapa poin penting sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian, alat mampu menempatkan benih pipih dengan tingkat keberhasilan rata-rata 84,1% (sekitar 50,5 biji dari 60 lubang *rockwool*) dan diperlukan uji coba mengenai ukuran jarum dan modifikasi tekanan *vacuum* agar persentase pengambilan benih pipih dapat lebih baik, sedangkan metode manual menunjukkan tingkat keberhasilan lebih tinggi, yaitu 90,7% (sekitar 54,4 biji dari 60 lubang *rockwool*). Namun, pada metode manual terdapat kemungkinan terjadinya *human error* yang lebih besar apabila proses dilakukan dalam waktu lama, akibat faktor kelelahan, penurunan konsentrasi, atau kejenuhan, sehingga konsistensi hasil sulit dipertahankan.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk menyemai 60 potongan *rockwool* dengan alat adalah 78 detik (setara ± 2.769 *rockwool* per jam), sedangkan metode manual membutuhkan rata-rata 120,2 detik (setara ± 1.800 *rockwool* per jam). Dengan demikian, alat lebih unggul dari segi efisiensi waktu, sementara metode manual lebih unggul dari segi ketelitian, meskipun rawan kesalahan akibat faktor manusia.
3. Berdasarkan pada hasil perhitungan konsumsi daya alat sebesar 72,615 Watt, tergolong sedang dan cocok untuk penggunaan pada sistem hidroponik skala kecil hingga menengah.

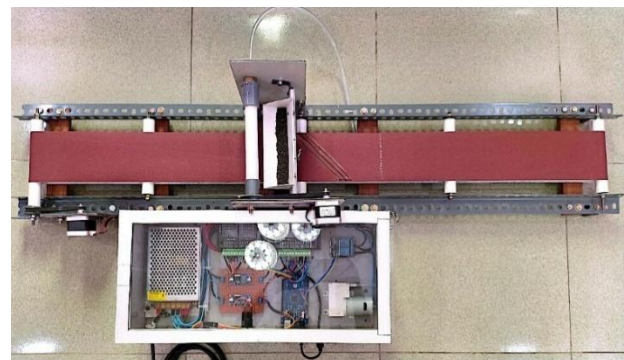
B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan alat kedepannya.

1. Diharapkan kedepannya dapat menambahkan mekanisme pelubang *rockwool* secara otomatis yang ditempatkan sebelum jarum *seeder*.
2. Diharapkan kedepannya dapat menambahkan jarum *seeder* yang berbeda ukurannya agar bisa menyesuaikan dengan benih yang akan disemai.
3. Menambahkan *keypad* sebagai pengaturan siklus yang sesuai dengan jumlah *tray* semai yang diharapkan tanpa memasukan kembali melalui program.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tampilan peragaan alat tampak atas



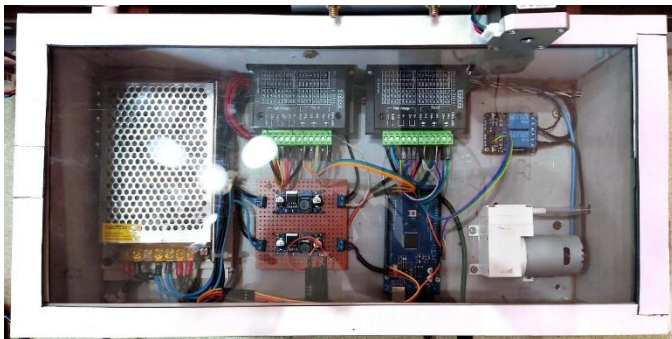
Lampiran 2. Tampilan peragaan alat tampak depan



Lampiran 3. Tampilan mekanisme jarum seeder



Lampiran 4. Tampilan tata letak komponen



- [8] Pompa Becker Indonesia, "Definisi pompa diafragma: Prinsip kerja dan keuntungan," [vacuumpump.co.id](https://vacuumpump.co.id/blog/pompa-diafragma). [Online]. Available: <https://vacuumpump.co.id/blog/pompa-diafragma>. [Accessed: Apr. 9, 2025].
- [9] Lin Engineering, "What is a coreless motor?" [linengineering.com](https://www.linengineering.com/what-is-a-coreless-motor). [Online]. Available: <https://www.linengineering.com/what-is-a-coreless-motor>. [Accessed: Apr. 7, 2025].
- [10] C. Platt, *Encyclopedia Of Electronic Components*; vol. 1. Power sources & conversion: Resistors, capacitors, inductors, switches, encoders, relays, transistors, 1st ed., rev. 6th release. Maker Media, 2015.
- [11] L. E. Frenzel Jr., *Contemporary Electronics: Fundamentals, Devices, Circuits, and Systems*. New York: McGraw-Hill Education, 2013.
- [12] N. Setiaji, S. Sumpena, dan A. Sugiharto, "Analisis konsumsi daya dan distribusi tenaga listrik," *J. Teknol. Ind.*, vol. 11, no. 1, Oct. 2022, doi: 10.35968/jti.v11i1.884.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, "Sensus penduduk 2020," sensus.bps.go.id, 2020. [Online]. Available: <https://sensus.bps.go.id/main/index/sp2020#:~:text=Jumlah%20penduduk%20Indonesia%20pada%20tahun,133.542.018%20untuk%20penduduk%20perempuan>. [Accessed: Apr. 25, 2025].
- [2] A. Risciawan, "Rancang bangun dan implementasi computer numeric control portable pada mesin plotter berbasis mikrokontroler," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [3] C. F. Setiawan, B. Priyadi, dan R. I. Putri, "Rancang bangun sistem pembenihan otomatis pada tanaman sawi hidroponik," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 3, 2022. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.33795/elkolind.v9i3/409v>.
- [4] Arduino, "Arduino Mega 2560 Rev3," Arduino Official Store. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. [Accessed: Mar. 12, 2025].
- [5] C. Platt, F. Jansson, dan C. Platt, *Encyclopedia of Electronic Components*, vol. 2, 1st ed. Sebastopol, CA: Maker Media, 2014.
- [6] J. S. Wakur, "Alat penyiram tanaman otomatis menggunakan Arduino Uno," Skripsi, Politeknik Negeri Manado, 2015.
- [7] Y. Satriawan, Y. Yulianto, dan S. Sungkono, "Sistem kontrol penggerak motor stepper molding microplastik metode fuzzy logic berbasis MyRIO," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 1, p. 62, 2022.