

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengembangan Produk

Pengembangan media pembelajaran *Inverse Kinematik* dengan *CNC Drawing* Robot pada Mata Kuliah Robotika ini menggunakan metode penelitian ADDIE (Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate) yang dikemukakan oleh Robert Maiebe Branch (2009). Berikut tahapan-tahapan hasil penelitian yang telah dilakukan :

1. Analyze

Tahap analisis dilakukan dengan mengumpulkan informasi melalui observasi dengan menggunakan angket tentang pembelajaran pada mata kuliah Robotika. Selain itu dilakukan analisis pada silabus mata kuliah Robotika. Berikut merupakan hasil dari tahap analisis :

a. Observasi

Observasi dilakukan dengan menggunakan angket tentang pembelajaran pada mata kuliah Robotika. Angket diisi oleh mahasiswa yang sedang dan telah mengikuti pembelajaran mata kuliah Robotika. Hasil observasi disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Media pembelajaran pada mata kuliah Robotika saat ini masih belum mencukupi perkembangan teknologi yang ada.
- 2) Pada mata kuliah Robotika belum ada media pembelajaran inverse kinematik yang menggunakan penerapan pada mesin CNC Drawing Robot.

3) Belum adanya jobsheet praktikum tentang inverse kinematik dan penerapannya pada CNC Drawing Robot.

b. Analisis Silabus

Silabus mata kuliah Robotika terdiri dari 9 Kompetensi Dasar (KD) dan 16 minggu pertemuan. Berdasarkan hasil analisis silabus mata kuliah Robotika, digunakan 3 Kompetensi Dasar untuk pengembangan media pembelajaran. Kompetensi Dasar digunakan untuk mengetahui kesesuaian materi dasar silabus mata kuliah Robotika dengan media pembelajaran. Hasil analisis silabus yang digunakan terdapat pada tabel 13.

Tabel 13. Analisis silabus

Minggu ke-	Kompetensi Dasar	Materi Dasar	Strategi Perkuliahan	Sumber/ referensi
1	Mengetahui konsep dasar robotika	Embedded system, DoF, Gerak, Torsi dan stabilitas	Ceramah	
2	Mempraktikkan dasar-dasar analisis kinematik	Matriks, dasar DoF, gravitasi dan gesekan	Ceramah , Praktikum	
3-4	Mempraktikkan prinsip servo	Control Servo, komunikasi serial, servo ID	Ceramah, Praktikum	

c. Analisis rencana pengembangan media

Perencanaan pengembangan media disesuaikan dengan hasil observasi dan analisis silabus, yaitu:

- 1) Media pembelajaran untuk mempelajari *inverse* kinematik dengan menggunakan *CNC Drawing* Robot belum tersedia, maka dibuat media pembelajaran *inverse* kinematik dengan *CNC Drawing* Robot.

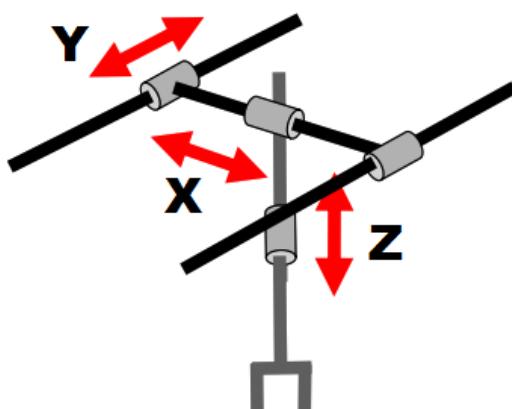
2) Pada mata kuliah Robotika belum belum adan *jobsheet* praktikum tentang *inverse kinematik* dan penerapannya pada *CNC Drawing* Robot, maka dibuat *jobsheet* praktikum *inverse kinematik* dengan *CNC Drawing* Robot.

2. Design

Desain dilakukan dengan merancang media pembelajaran sesuai dengan tahap analisis. Media pembelajaran *CNC Drawing* Robot terdiri dari media praktikum dan *jobsheet* praktikum. Tahapan yang dilakukan dalam kegiatan desain meliputi :

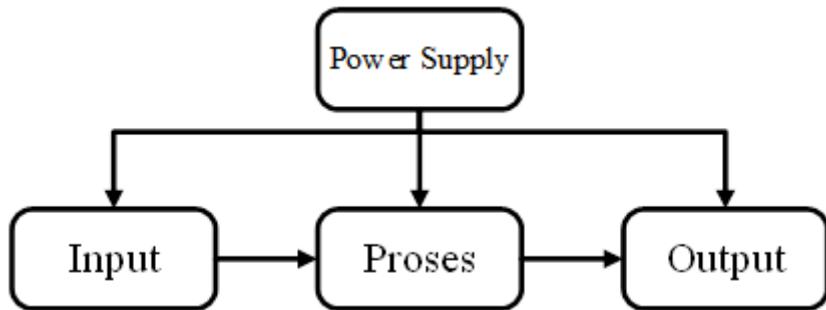
a. Kebutuhan pengembangan

Kebutuhan pengembangan untuk mengetahui bahan yang digunakan dan kebutuhan pengembangan media pembelajaran. Media pembelajaran yang dikembangkan berupa media praktikum *CNC Drawing* Robot dan *jobsheet* praktikum. Media praktikum tersusun dari blok mekanik penggerak, blok elektronik dan *box packaging*. Pada blok mekanik penggerak menggunakan desain mesin CNC 3 axis dengan model mesin *CNC cartesian* yang memiliki sumbu X, Y , dan Z seperti pada gambar 27.



Gambar 27. Model mesin *CNC cartesian*

Blok elektronik memiliki bagian-bagian berupa blok power supply, blok input, blok proses dan blok output. Gambar 28 merupakan blok diagram dari blok elektronik



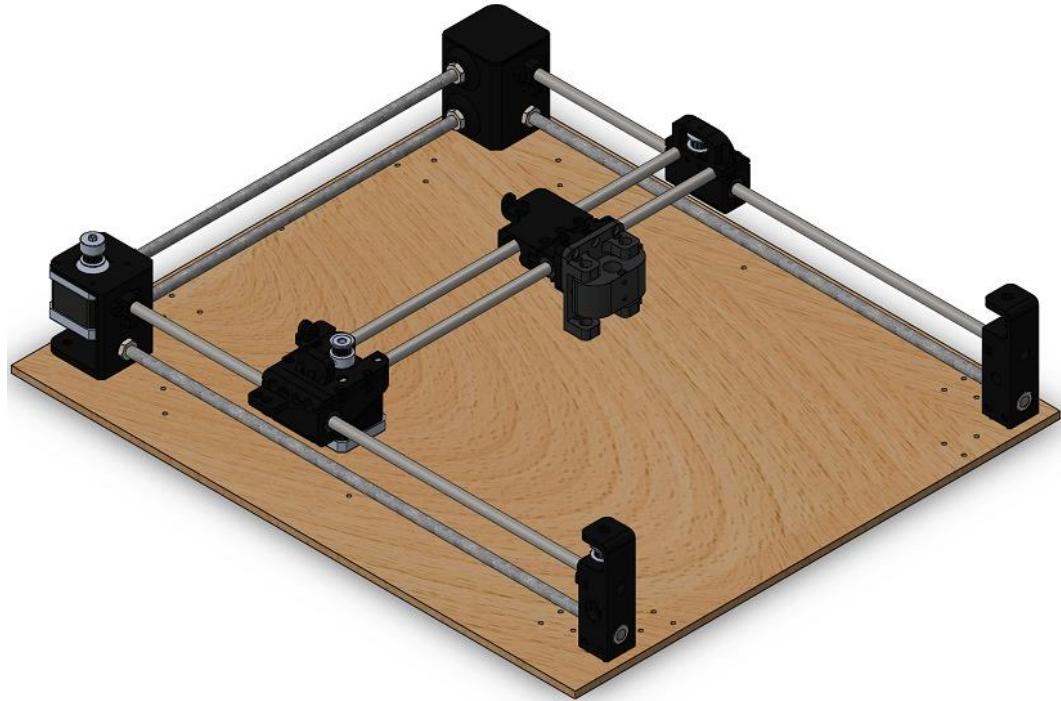
Gambar 28. Blok Diagram Blok Elektronik

b. Desain Media Pembelajaran CNC Drawing Robot

1) Desain Blok Mekanik

Desain blok mekanik menggunakan desain mesin *CNC cartesian* 3 axis. Bagian penggerak sumbu X dan sumbu Y menggunakan motor stepper sedangkan untuk sumbu Z menggunakan motor servo. Dimensi keseluruhan dari blok mekanik adalah 43 cm x 50 cm x 9,4 cm. Dimensi tersebut diambil karena dianggap baik untuk dibuat media pembelajaran dan dapat memuat kertas A4 karena memiliki bidang kerja sebesar 32 cm x 22 cm. Alas dari blok mekanik menggunakan bahan MDF dengan ketebalan 6 mm. Untuk part lainnya menggunakan bahan plastik berjenis PLA (Polylactic Acid) yang dicetak menggunakan mesin 3D Printer. Bagian penting penggerak lainnya yaitu menggunakan *Stainless Steel Rod* dan *Linear Bearing* 8 mm. Selain itu penghubung antara motor stepper dan bagian penggerak menggunakan *timing pulley* dengan spesifikasi *pitch* 2 mm yang memiliki jumlah gigi 20 dan *timing belt* dengan *pitch* 2 mm. Desain dari blok mekanik di desain menggunakan aplikasi Solidworks. Pada gambar 29 merupakan

desain 3D dari desain blok mekanik. Gambar desain blok mekanik beserta keterangan lengkapnya dapat dilihat pada lampiran desain blok mekanik.

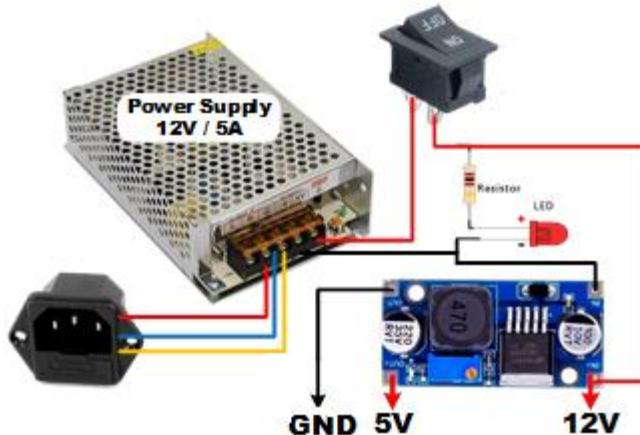


Gambar 29. Desain Blok Mekanik Penggerak

2) Desain Blok Elektronik

Desain blok elektronik berupa rangkaian elektronik pada media pembelajaran *CNC Drawing* Robot.. Bagian-bagian yang terdapat pada blok elektronik adalah blok input yang terdiri dari input tombol, USB dan *limit switch*. Blok proses berupa arduino UNO yang berfungsi untuk mengolah dan mengontrol pergerakan dari motor stepper sekaligus menerima masukan. Blok output berupa motor servo, driver motor stepper dan motor stepper dimana terdapat dua buah driver motor stepper dan dua buah motor stepper yang masing-masing menggerakan sumbu X dan sumbu Y. Untuk blok *power supply* terdiri dari terminal listrik AC yang memiliki *fuse*, *power supply* 12 volt, *switch* dan modul penurun

tegangan yang diatur keluarannya sebesar 5 volt dengan rangkaian seperti pada gambar 30.



Gambar 30. Rangkaian Blok *Power Supply*

Desain penempatan komponen elektronik memiliki 2 buah lapisan yaitu lapisan pertama adalah papan MDF (*Medium Density Fiberboard*) dengan ketebalan 3 mm yang digunakan sebagai alas penempatan komponen dan lapisan kedua adalah acrylic bening dengan ketebalan 3 mm yang digunakan sebagai pelindung sticker yang ditempel pada alas MDF. Desain papan MDF dan Acrylic penempatan komponen elektronik dapat dilihat pada lampiran Blok komponen elektronik.

3) Desain Box Packaging

Desain *box packaging* didesain menggunakan *software* Solidworks, *box packaging* memiliki dimensi 56 cm x 51 cm x 15 cm. Bahan *box packaging* menggunakan bahan papan MDF dengan ketebalan 6 mm. Pada *box packaging* dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian alas dan bagian tutup, dimana pada bagian alas digunakan untuk penempatan blok mekanik penggerak dan blok elektronik. Pada bagian tutup digunakan sebagai pengaman saat media pembelajaran ditutup

untuk disimpan. Desain box packaging beserta keterangan lengkap dapat dilihat pada lampiran desain box packaging. Gambar 31 merupakan desain singkat dari *box packaging*.



Gambar 31. Desain *Box Packaging*

4) Desain Sticker

Desain sticker didesain menggunakan aplikasi CorelDraw, dimana pada desain sticker terdiri dari beberapa bagian desain utama yaitu desain sticker logo media pembelajaran beserta keterangan dan bagian sticker blok elektronik. Sticker logo dan keterangan ditempel pada bagian box sedangkan sticker blok elektronik dipasang sesuai ukuran dan penempatan blok elektronik. Desain sticker secara lengkap dapat dilihat pada lampiran desain sticker. Pada gambar 32 merupakan gambar desain logo sticker media pembelajaran.



Gambar 32. Desain Sticker Logo

c. Jobsheet

Jobsheet digunakan sebagai pendamping praktikum penggunaan media pembelajaran. Pada *jobsheet* terdapat kegiatan praktikum yang digunakan oleh mahasiswa untuk melakukan praktikum menggunakan media pembelajaran *CNC Drawing Robot*. Gambar 33 merupakan desain dari *cover jobsheet* praktikum.



Gambar 33. Desain *Cover Jobsheet*

3. Develop

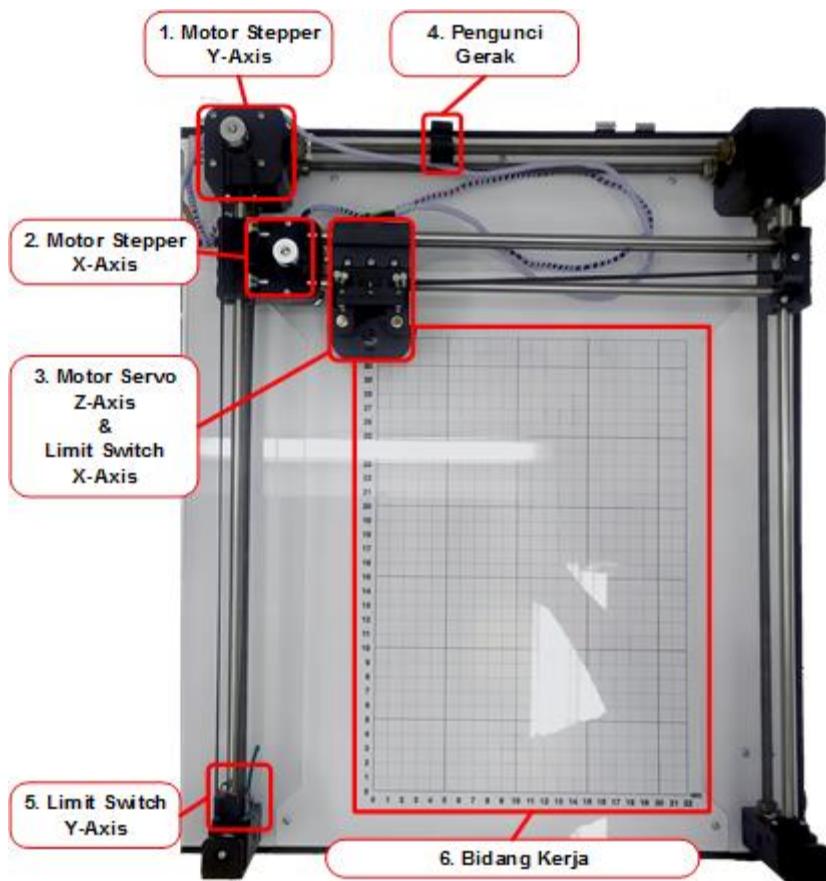
Tahap develop atau mengembangkan meliputi realisasi desain, pengujian produk, validasi dan revisi. Dalam tahap mengembangkan terdapat dua tahap validasi, yaitu validasi ahli materi dan validasi ahli media.

a. Realisasi pembuatan media pembelajaran

Media pembelajaran *CNC Drawing* Robot terdiri dari *hardware* dan *software*. Berikut penjelasan *hardware* dan *software* pada media pembelajaran *CNC Drawing* Robot.

1) Hardware

a) Blok Mekanik Penggerak



Gambar 34. Bagian Blok Mekanik Penggerak

Berikut adalah penjelasan dari setiap bagian blok mekanik :

1. Motor Stepper Y Axis

Motor stepper yang menggerakan end-effector atau ujung lengan pada sumbu Y. Motor stepper yang digunakan adalah motor stepper Nema 17. Penyangga motor stepper terbuat dari bahan plastik PLA yang dicetak menggunakan mesin 3D printer. Ruang gerak dari sumbu Y adalah 32 cm. Sumbu Y bergerak dengan bantuan timing belt dan timing pulley yang dipasang pada motor stepper.

2. Motor Stepper X-Axis

Motor stepper yang menggerakan end-effector atau ujung lengan pada sumbu X. Motor stepper yang digunakan adalah motor stepper Nema 17. Penyangga motor stepper terbuat dari bahan plastik PLA yang dicetak menggunakan mesin 3D printer. Ruang gerak dari sumbu X adalah 22 cm. Sumbu Y bergerak dengan bantuan timing belt dan timing pulley yang dipasang pada motor stepper.

3. Motor Servo Z-Axis & Limit Switch X-Axis

Motor sevo Z-axis dan limit switch X-Axis berada di satu bagian gerak yang sama yang bergerak mengikuti sumbu X. Motor servo yang digunakan adalah servo Tower Pro SG90 yang memerlukan tegangan 5 volt sebagai sumber tegangannya dan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur putaran gerak dari motor servo. Gerakan dari motor servo akan menggerakan **end-effector (ujung lengan)** atau Z-Axis yang dapat dipasang sebuah alat tulis dengan diameter maksimal 12mm. Gerakan yang dihasilkan pada end-effector

bergerak naik turun mengikuti sumbu Z dengan ruang gerak yang dimiliki sebesar 10mm.

Limit switch X-Axis berfungsi untuk memberikan sinyal jika bagian gerak sumbu X telah menabrak ujung di sebelah kiri dari bidang gerak sehingga dapat dgunakan sebagai trigger untuk mengetahui bahwa posisi penggerak sumbu X sudah berada di ujung kiri dan dapat digunakan sebagai penanda lokasi home / lokasi awal.

4. Pengunci Gerak

Pengunci gerak adalah bagian yang berfungsi untuk mengunci pergerakan dari penggerak baik di sumbu X maupun sumbu Y sehingga penggerak tidak akan bergeser atau menabrak jika media CNC drawing robot disimpan. Penguncu gerak harus dipasang saat akan menyimpan media sehingga media tidak mudah rusak dan pengunci gerak harus dibuka jika akan menggunakan media CNC drawing robot kembali.

5. Limit Switch Y-Axis

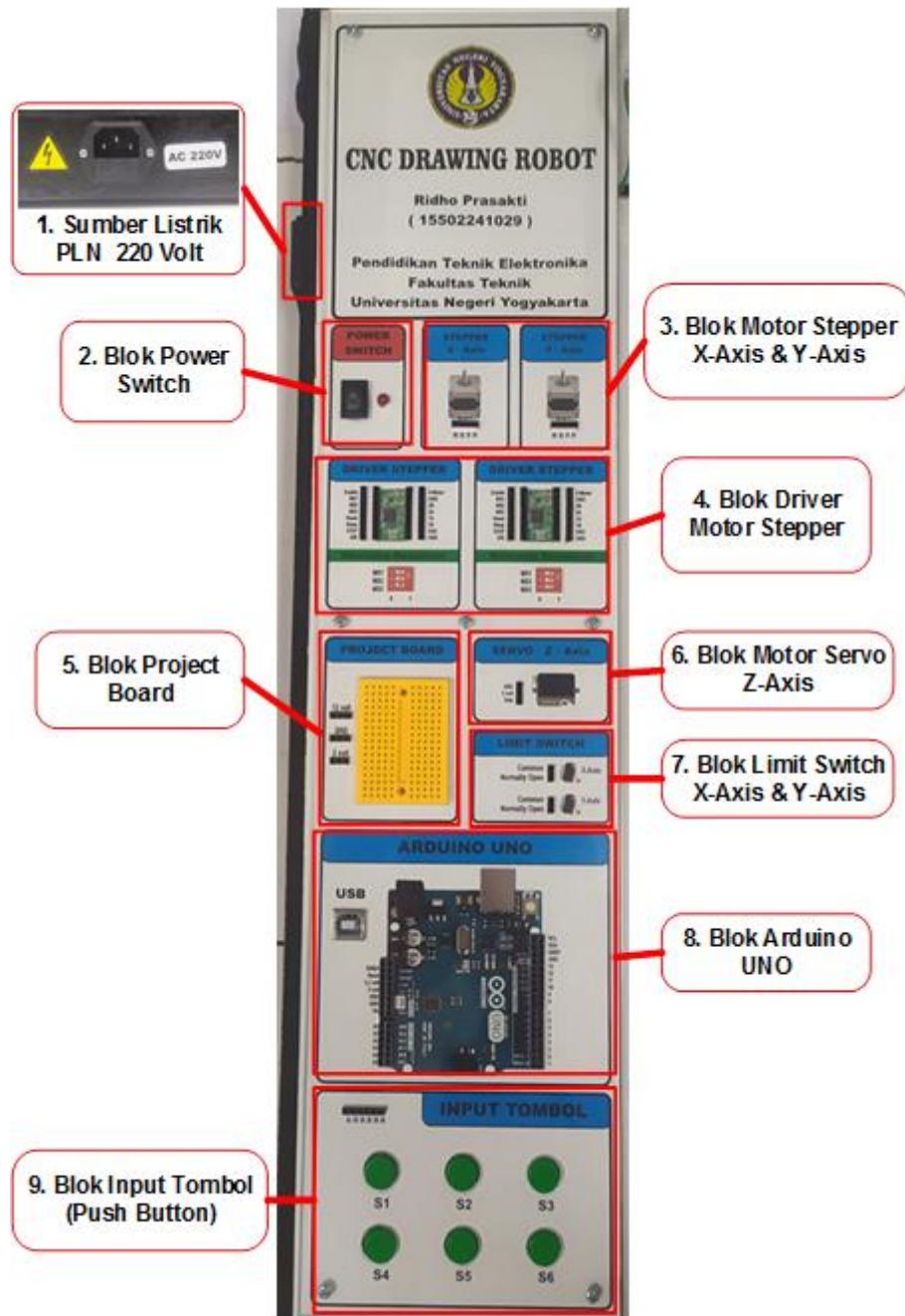
Limit switch Y-Axis berfungsi untuk memberikan sinyal jika bagian gerak sumbu Y telah menabrak ujung di sebelah bawah dari bidang kerja sehingga dapat dgunakan sebagai trigger untuk mengetahui bahwa posisi penggerak sumbu Y sudah berada di ujung kiri dan dapat digunakan sebagai penanda lokasi home / lokasi awal.

6. Bidang Kerja

Bidang kerja yang dimiliki oleh CNC drawing robot adalah berbentuk persegi panjang dengan ukuran 32cm x 22cm. Alas dari bidang kerja terbuat dari

bahan acrylic dengan penanda ruang kartesius yang dapat digunakan sebagai bantuan melihat koordinat dari end-effector saat bekerja.

b) Blok Elektronik



Gambar 35. Bagian-bagian Blok Elektronik

Bagian elektronik pada media CNC drawing robot terdiri dari beberapa blok yang merupakan komponen-komponen penyusun dari CNC drawing robot. Blok-blok elektronik nantinya akan dapat dihubungkan dengan kabel penghubung male-male yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan dari lembar praktik pembelajaran. Berikut penjelasan lengkap dari setiap blok pada bagian elektronik.

1. Sumber listrik PLN 220 Volt



Gambar 36. Konektor Power PLN

Konektor sumber listrik berada dibagian samping atas. Konektor power dihubungkan dengan sumber dari jala-jala listrik PLN 220 volt. Terdapat juga fuse pengaman pada konektor power dengan menggunakan fuse dengan nilai 0,5 ampere.

2. Blok Power Switch



Gambar 37. Blok Power Switch

Blok power switch terdiri dari sebuah tombol power dan sebuah LED indikator yang akan menyala jika tombol power dinyalakan. Tombol power akan menghantarkan tegangan dari power supply 12 volt ke bagian elektronik.

3. Blok Motor Stepper X-Axis & Y-Axis



Gambar 38. Blok Motor Stepper

Pada blok motor stepper terdapat konektor yang terhubung langsung dengan motor stepper NEMA 17. Terdapat dua buah motor stepper yaitu motor stepper X-Axis dan motor stepper Y-Axis yang masing-masing memiliki pin 2B, 2A, 1A dan 1B. Pin pada motor stepper ini nantinya akan dihubungkan dengan driver motor stepper agar motor stepper dapat berputar sesuai dengan yang diharapkan.

4. Blok Driver Motor Stepper



Gambar 39. Blok Driver Motor Stepper

Blok driver motor stepper terdapat dua buah blok driver dimana masing masing akan digunakan untuk menggerakan motor stepper pada X-Axis dan Y-Axis. Driver motor stepper yang digunakan yaitu A4988 yang nantinya akan

dipasang pada pin blok driver motor stepper. Pada driver motor stepper A4988 terdapat resolusi per-*step* yang dapat diatur atau sering disebut fitur *micro-stepping*, untuk dapat menilih resolusi yang digunakan pada driver akan menggunakan pin MS1, MS2, dan MS3 pada driver stepper. Terdapat bagian menggunakan dip-switch yang terhubung dengan pin MS1, MS2, MS3 yang akan mempermudah dalam memindah pengaturan mode micro stepping yang digunakan pada driver motor stepper dengan konfigurasi seperti berikut.

Tabel 14. Micro-Stepping Driver Stepper A4988

MS1	MS2	MS3	Resolusi Micro-Stepping
L	L	L	<i>Full Step</i> (1/1)
H	L	L	<i>Half Step</i> (1/2)
L	H	L	<i>Quarter Step</i> (1/4)
H	H	L	<i>Eighth Step</i> (1/8)
H	H	H	<i>Sixteenth Step</i> (1/16)

5. Blok Project Board



Gambar 40. Blok Project Board

Blok project board terdiri dari sebuah projectboard dan 3 buah konektor sumber tegangan yaitu 12 volt, 5 volt dan Ground. Blok project board ini berfungsi sebagai penghubung sumber tegangan ke bagian lain ataupun untuk menghubungkan konektor yang diparalel lebih dari satu.

6. Blok Motor Servo Z-Axis



Gambar 41. Blok Motor Servo

Pada blok servo terdapat tiga buah pin yang terhubung langsung dengan motor servo yang menggerakan sumbu Z. Terdapat tiga buah pin yaitu GND, 5 volt dan data yang nantinya akan dihubungkan ke sumber tegangan dan ke kontroler.

7. Blok Limit Switch



Gambar 42. Blok Limit Switch

Blok limit switch terdiri dari dua buah konektor yang terhubung langsung dengan limit switch pada X-Axis dan Y-Axis. Pada setiap limit switch yang dihubungkan hanya pada kaki Common dan Normally Open. Dimana common akan terhubung dengan normally open jika limit switch ter-trigger atau tertekan. Limit switch akan digunakan untuk mendeteksi saat bagian penggerak telah

sampai pada ujung bidang kerja. Akan tetapi pemasangan limit switch hanya terbatas pada bagian ujung kiri pada sumbu X dan posisi paling bawah pada sumbu Y.

8. Blok Arduino UNO



Gambar 43. Blok Arduino UNO

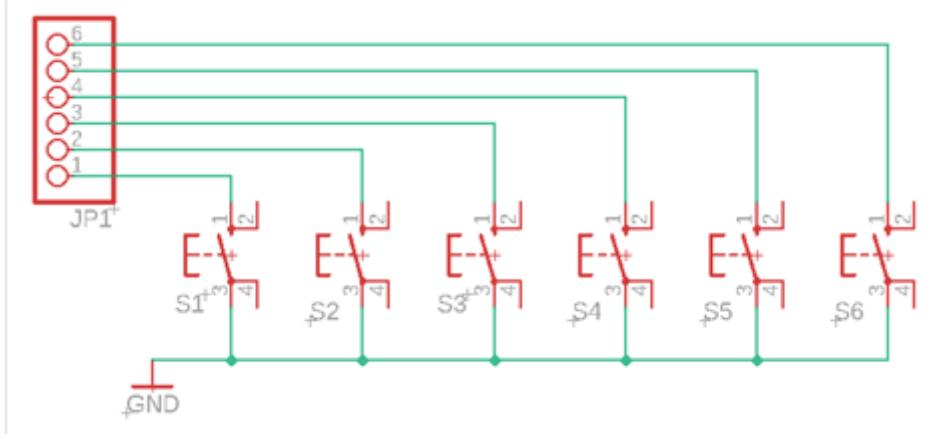
Pada blok Arduino UNO terdapat arduino UNO dibagian dalamnya dan hanya dimunculkan konektor dari arduino UNO. Untuk konektor penghubung USB pada arduino terdapat di sebelah kiri dari blok arduino untuk dihubungkan dengan PC. Pin yang ada pada blok arduino memiliki masing-masing 2 pin yang diparalel sehingga dapat dihubungkan lebih dari satu buah pin yang sama jika dibutuhkan.

9. Blok Input Tombol



Gambar 44. Blok Input Tombol

Blok Input tombol terdiri dari enam buah push button yang memiliki keluaran active low atau jika ditekan akan memiliki keluaran logic low sehingga dibutuhkan pull-up untuk dapat menggunakan inputan dari tombol baik menggunakan resistor ataupun pull-up internal dari kontroler. Berikut adalah skema rangkaian dari input tombol.



Gambar 45. Skema Rangkaian Blok Input Tombol

c) Box Packaging

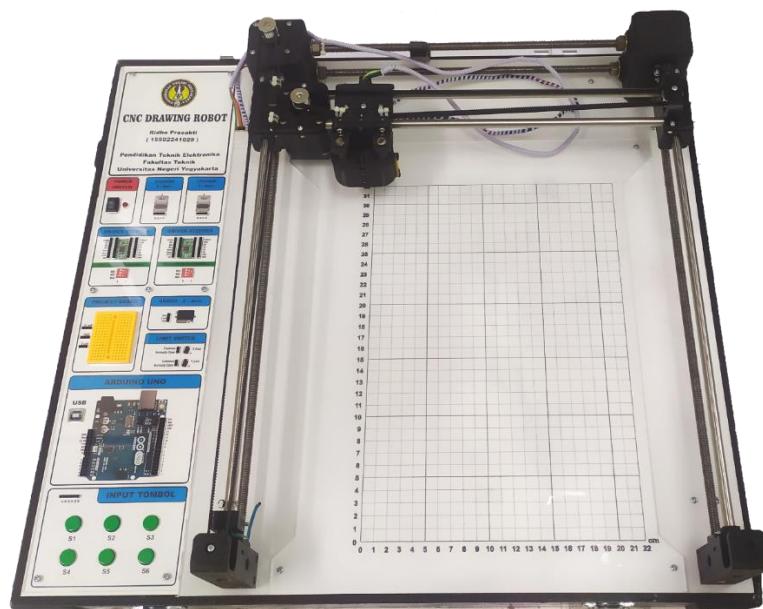
Box Packaging dibuat menjadi bentuk menyerupai koper agar mudah dalam menyimpan dan membawa media pembelajaran *CNC Drawing* Robot. Dimensi box packaging adalah 56 cm x 51 cm x 15 cm dengan bahan papan MDF dengan ketebalan 6 mm. Box dicat dengan cat kayu warna hitam dan memiliki engsel yang dapat dilepas antara bagian alas dan tutup sehingga dalam penggunaan media pembelajaran akan dipermudah tanpa dihalangi oleh tutup. Box juga dilengkapi dua buah pengunci agar dapat aman saat box packaging ditutup. Kemudian box juga dilengkapi sebuah *handle* dari plastik elastis agar dapat mudah dibawa atau dipindahkan. Berikut adalah gambar dari media pembelajaran *CNC Drawing* robot dalam bentuk koper.



Gambar 46. Media *CNC Drawing Robot* (Bentuk Koper)



Gambar 47. Media *CNC Drawing Robot* posisi Berdiri

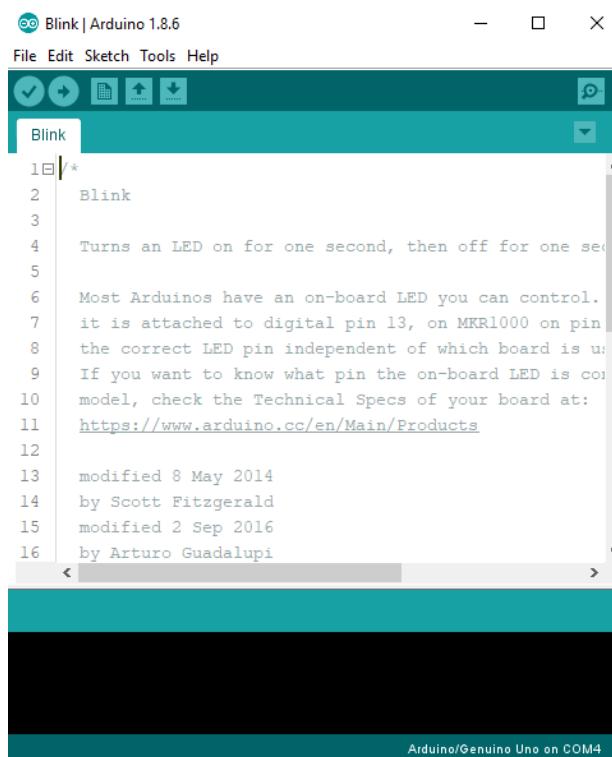


Gambar 48. Media *CNC Drawing Robot* Alas tanpa tutup (Tampak Atas)

2) Software

a) Arduino IDE

Arduino IDE merupakan aplikasi untuk melakukan pemrograman pada mikrokontroler arduino menggunakan bahasa C. Arduino IDE dapat digunakan untuk melakukan pemrograman pada berbagai jenis mikrokontroler Arduino seperti Arduino UNO yang terdapat di media pembelajaran CNC Drawing Robot. Berikut tampilan arduino IDE saat dijalankan.



Gambar 49. Arduino IDE

b) GRBL

GRBL adalah sebuah *software open source* yang digunakan untuk mengatur gerakan dari mesin *CNC* dan berjalan di *platform arduino*. Kebanyakan mesin 3D printer yang *open source* menggunakan Grbl sebagai intinya dan banyak juga

diadaptasi pada proyek lainnya seperti *laser cutters*, *automatic hand writer* dan lain sebagainya (Anonim, 2019). Grbl didesain untuk mengoptimalkan pembacaan perintah secara terus menerus G-Code dengan menggunakan arduino dengan ketepatan operasi. G-code adalah kode perintah eksekusi pergerakan dari mesin CNC. Untuk saat ini Grbl hanya bisa digunakan untuk mesin 3 axis yaitu X, Y, dan Z. Gambar 50 merupakan logo dari GRBL.



Gambar 50. Logo GRBL

Pada Grbl fungsi pembacaan perintah dari G-Code dibatasi dan hanya beberapa G-Code dasar saja yang dapat digunakan karena untuk menjaga *software* Grbl berjalan dengan lancar dan tetap stabil pada arduino. Perintah G-code akan didapat dari komunikasi serial yang ada pada arduino dan biasanya menggunakan *software* pengirim perintah dari komputer. Tabel 15 adalah perintah-perintah G-code dasar yang bisa digunakan pada Grbl.

Tabel 15. G-Code Dasar pada Grbl

Kode	Fungsi
G0, G1	<i>Linear Motions</i>
G2, G3	<i>Arc and Helical Motions</i>
G4	<i>Dwell</i>
G20, G21	<i>Units mm / inch</i>
G28, G30	<i>Go to Pre-Defined Position</i>
G53	<i>Move in Absolute Coordinates</i>
M0, M2, M30	<i>Program Pause and End</i>

Penulisan G-code memiliki pola penulisan yang sering digunakan sehingga pembacaan perintah oleh mesin dengan bantuan Grbl dapat dibaca dengan baik. Berikut adalah contoh penulisan perintah G-code.

G00 X5 Y3 Z0.5(19)

Kode (19) memiliki keterangan perintah G-code memiliki arti bergerak linier ke koordinat X yaitu 5mm, koordinat Y yaitu 3mm, dan koordinat Z yaitu 0,5mm. Dengan perintah G00 memberikan perintah mesin untuk bergerak secara linier ke koordinat masing-masing X, Y dan Z. Satuan ukuran yang digunakan sebelumnya harus didefinisikan terlebih dahulu dengan perintah G21 yang memberikan parameter ukuran yang digunakan oleh mesin adalah menggunakan unit milimeter.

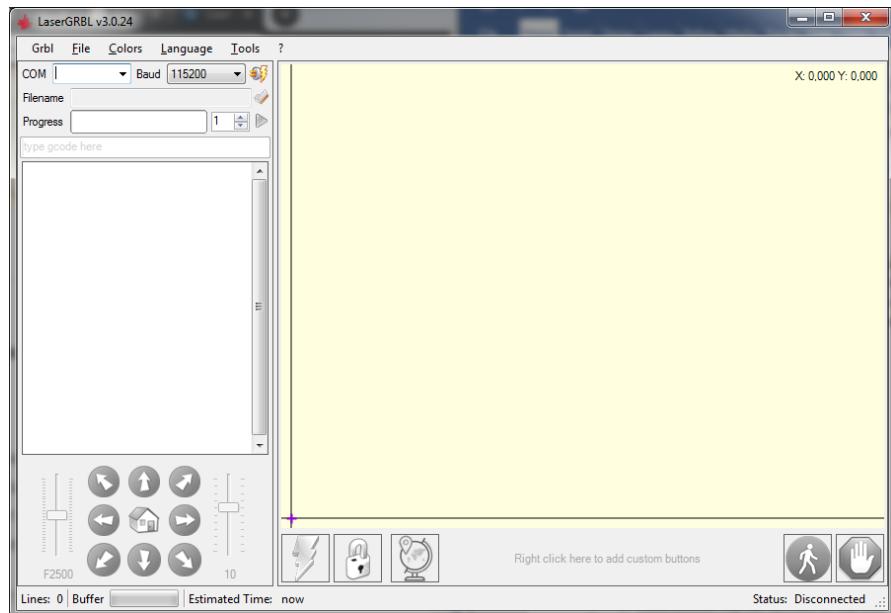
c) LaserGRBL



Gambar 51. Logo LaserGRBL

LaserGRBL adalah sebuah aplikasi open-source pada operating system Windows yang berfungsi untuk mengirim perintah G-Code menggunakan protokol serial, selain itu aplikasi ini mampu untuk membuka file G-Code dan mengirim perintah G-Code secara beruntun menggunakan protokol serial ke Arduino yang sudah diprogram dengan GRBL. Logo laserGRBL dapat dilihat pada gambar 51. LaserGRBL memiliki Graphical User Interface (GUI) yang mudah digunakan.

Fungsi lainnya dari LaserGRBL mampu untuk mengubah gambar atau gambar menjadi perintah G-Code yang dapat dikirimkan ke mesin CNC. Aplikasi LaserGRBL dapat didownload di website resmi secara gratis pada www.lasergtbl.com.



Gambar 52. GUI LaserGRBL

b. Jobsheet

Jobsheet merupakan lembar kerja yang digunakan untuk praktikum. *Jobsheet* berisi *cover*, pendahuluan, daftar isi, etiket, tujuan, teori dasar, alat dan bahan, keselamatan kerja, langkah kerja dan tugas. *Jobsheet* praktikum *CNC Drawing* Robot terdiri dari 6 job yaitu job 1 dengan judul Pengenalan *CNC Drawing* Robot, job 2 dengan judul praktik motor servo, job 3 dengan judul praktik motor stepper (*full-step*), job 4 dengan judul praktik motor stepper (*half-step*), job 5 dengan judul *inverse* kinematik, dan job 6 dengan judul GRBL pada *CNC Drawing* Robot.



Gambar 53. *Jobsheet CNC Drawing Robot*

c. Pengujian Produk

Pengujian produk digunakan untuk menguji setiap komponen pada media pembelajaran *CNC Drawing* Robot untuk mengetahui ukur kerja dari media pembelajaran ketika digunakan. Pengujian produk dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa multimeter dan pengamatan secara langsung. Berikut hasil pengujian dari komponen pada media pembelajaran *CNC Drawing* Robot.

1) Power Supply

Pengujian pada blok *power supply* dilakukan dengan mengukur tegangan *output* dari *power supply* 12 volt dan modul penurun tegangan LM2596 yang diatur keluarannya 5 volt. Berikut hasil pengujian blok *power supply*.

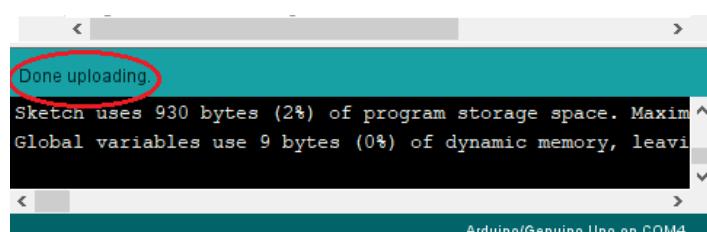
Tabel 16. Hasil pengujian power supply

Pengujian ke-	Tegangan <i>Input</i>	Tegangan <i>Output</i> (pin 5V)	Error (%)	Tegangan <i>Output</i> (pin 12V)	Error (%)	Rerata Error (%)
1	12 V DC	5,11 VDC	0,2	12,41 VDC	3,41	1,80
2	12 V DC	5,10 VDC	0	12,43 VDC	3,58	1,79
3	12 V DC	5,10 VDC	0	12,43 VDC	3,58	1,79
4	12 V DC	5,10 VDC	0	12,43 VDC	3,58	1,79
5	12 V DC	5,10 VDC	0	12,43 VDC	3,58	1,79
Σ Rerata Error (%)						1,79

Hasil pengujian power supply dapat memiliki rerata persentase error sebesar 1,79%.

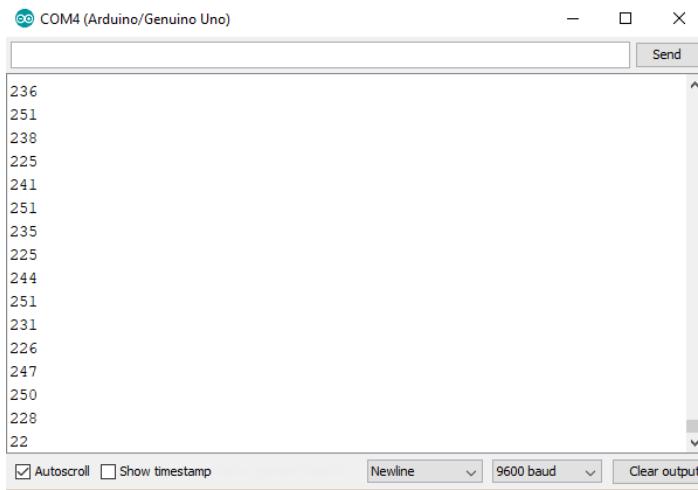
2) Arduino UNO

Pengujian Arduino Uno dengan melakukan upload program *example* dari Arduino IDE yaitu *AnalogReadSerial*. Program Arduino IDE *AnalogReadSerial* berhasil diupload di Arduino Uno dengan pemberitahuan *done uploading* seperti gambar 54.



Gambar 54. *Done Uploading* Arduino IDE

Program *example* Arduino IDE *AnalogReadSerial* berhasil diupload dan berjalan sesuai program Arduino IDE yaitu membaca data analog dan ditampilkan pada serial monitor arduino IDE.



Gambar 55. Pengujian program AnalogReadSerial

Hasil pengujian Arduino Uno dapat berjalan sesuai dengan program Arduino IDE dengan persentase error 0%.

3) Input Tombol

Pengujian input tombol dilakukan dengan menggunakan multimeter pada saat media pembelajaran keadaan mati yaitu diukur hubungan antara tombol dan GND. Pengujian dilakukan dengan kondisi saat tombol tidak ditekan maka rangkaian tombol terbuka dengan GND sedangkan saat tombol ditekan maka akan terjadi rangkaian tertutup antara tombol dan GND. Tabel 17 merupakan pengujian input tombol.

Tabel 17. Tabel Pengujian Input Tombol

Tombol	Kondisi Tombol dengan GND	
	Tidak Ditekan	Ditekan
S1	Terbuka	Tertutup
S2	Terbuka	Tertutup
S3	Terbuka	Tertutup
S4	Terbuka	Tertutup
S5	Terbuka	Tertutup
S6	Terbuka	Tertutup

Dengan hasil pengujian sebagai berikut maka rangkaian input tombol dapat dikatakan bekerja dengan baik.

4) Limit Switch

Pengujian limit switch dilakukan dengan mengukur limit switch telah terhubung dengan benar dan berfungsi sesuai spesifikasinya. Pin pada limit switch yang dihubungkan yaitu pin Common dan pin Normally Open, jika diukur dengan multimeter maka limit switch akan memiliki fungsi switch rangkaian terbuka saat tidak ditekan sedangkan limit switch akan memiliki fungsi rangkaian tertutup jika tertekan. Tabel 18 merupakan pengujian limit switch.

Tabel 18. Tabel Pengujian Limit Switch

Tombol	Kondisi	
	Tidak Ditekan	Ditekan
Limit Switch X - Axis	Terbuka	Tertutup
Limit Switch Y - Axis	Terbuka	Tertutup

5) Motor *Servo*

Pengujian motor servo dilakukan dengan menjalankan program example dari Arduino IDE yaitu Servo Sweep yang berfungsi untuk menggerakan motor servo secara berulang-ulang dengan perubahan sudut dari 0 derajat hingga 180 derajat. Berikut hasil pengujian motor servo. Pada proses pengujian diamati motor servo bergerak mengikuti perputaran sudut dari 0 derajat hingga menuju 180 derajat kemudian kembali lagi ke 0 derajat. Pada tabel19 merupakan pengujian motor servo.

Tabel 19. Tabel Pengujian Motor Servo

No.	Sudur (derajat)	Hasil Pengujian
1	0	✓
2	20	✓
3	40	✓
4	60	✓
5	80	✓
6	100	✓
7	120	✓
8	140	✓
9	160	✓
10	180	✓

6) Driver Motor Stepper & Motor Stepper

Pengujian driver motor stepper A4988 dilakukan langsung dengan dihubungkan dengan motor stepper agar dapat diamati pergerakan dari motor stepper. Pengujian dilakukan dilakukan sesuai dengan praktikum pada jobsheet job ke 3 dan ke 4. Tabel 20 merupakan hasil pengujian driver motor stepper dan motor stepper.

Tabel 20. Tabel Pengujian Driver Motor Stepper Pin Enable

Driver	Logic Enable Pin	Hasil Pengujian
1	LOW	Motor stepper aktif dan holding torque
1	HIGH	Motor stepper tidak aktif
2	LOW	Motor stepper aktif dan holding torque
2	HIGH	Motor stepper tidak aktif

Pada pengujian pin enable diuji saat pin enable diberi logic jika diberikan logic low maka motor stepper akan aktif dan berada pada posisi holding torque (keadaan diam dan menahan posisi) sedangkan saat pin enable diberikan logic high maka keadaan motor stepper akan tidak aktif (keadaan diam dan tidak menahan posisi). Sehingga berdasarkan hasil pengujian pin enable motor stepper berfungsi sesuai dengan baik.

Tabel 21. Tabel Pengujian Putaran Motor Stepper

Driver	Logic DIR Pin	Hasil Pengujian
1	LOW	Motor stepper berputar berlawanan arah jarum jam
1	HIGH	Motor stepper berputar searah jarum jam
2	LOW	Motor stepper berputar berlawanan arah jarum jam
2	HIGH	Motor stepper berputar searah jarum jam

Pengujian putaran motor stepper dilakukan menggunakan program arduino seperti pada job 3 dan job 4 dimana parameter yang dirubah dan diperhatikan pada logika pin DIR yang mengatur arah putaran motor stepper. Dari hasil pengujian didapatkan driver motor stepper dan motor stepper berfungsi dengan baik.

7) Penggerak Y-Axis

Penggerak Y-Axis dilakukan pengujian dengan menggerakan motor stepper sesuai dengan perhitungan rumus step per mm, yang akan mengetahui jumlah step yang dibutuhkan untuk menggerakan bagian penggerak sebesar 1 mm. Berikut merupakan perhitungan step per mm pada mode full step.

$$\begin{aligned}
 Step \text{ per Revolution} &= 200 \\
 Belt Pitch &= 2 \\
 Pulley Number of Teeth &= 20 \\
 Driver Step &= 1 (Full-Step)
 \end{aligned}$$

$$Steps/mm = \frac{(Steps\ per\ Revolution \times Driver\ Step)}{(Belt\ Pitch \times Pulley\ Number\ of\ Teeth)} = \frac{(200 \times 1)}{(2 \times 20)} = 5\ steps/mm \dots(20)$$

Berikut merupakan perhitungan step per mm pada mode half step.

$$\begin{aligned}
 Step\ per\ Revolution &= 200 \\
 Belt\ Pitch &= 2 \\
 Pulley\ Number\ of\ Teeth &= 20 \\
 Driver\ Step &= 1/2\ (Half-Step)
 \end{aligned}$$

$$Steps/mm = \frac{(Steps\ per\ Revolution \times Driver\ Step)}{(Belt\ Pitch \times Pulley\ Number\ of\ Teeth)} = \frac{(200 \times 1/2)}{(2 \times 20)} = 10\ steps/mm \dots(21)$$

Dengan diketahui jumlah step yang dibutuhkan untuk bergerak 1 mm maka dilakukan pengujian penggerak Y-Axis untuk bergerak sebesar 50 mm. Kemudian dilakukan pengukuran jarak perpindahan pada Y-Axis untuk menguji ketelitian pergerakan dari Y-Axis. Berikut tabel pengujian penggerak Y-Axis.

Tabel 22. Tabel Pengujian Penggerak Y-Axis

Percobaan ke	Jarak Percobaan (mm)	Jarak Sebenarnya (mm)	Error (%)
1	50	49	2
2	50	50	0
3	50	50	0
4	50	49	2
5	50	51	2
Σ Rerata Error (%)			1,2

Hasil pengujian penggerak Y-Axis dapat berjalan dengan baik dengan presentase error sebesar 1,2 %.

8) Penggerak X-Axis

Penggerak X-Axis dilakukan pengujian dengan menggerakan motor stepper sesuai dengan perhitungan rumus step per mm, yang akan mengetahui jumlah step

yang dibutuhkan untuk menggerakan bagian penggerak sebesar 1 mm. Berikut merupakan perhitungan step per mm pada mode full step.

<i>Step per Revolution</i>	= 200
<i>Belt Pitch</i>	= 2
<i>Pulley Number of Teeth</i>	= 20
<i>Driver Step</i>	= 1 (<i>Full-Step</i>)

$$Steps/mm = \frac{(Steps\ per\ Revolution \times Driver\ Step)}{(Belt\ Pitch \times Pulley\ Number\ of\ Teeth)} = \frac{(200 \times 1)}{(2 \times 20)} = 5\ steps/mm \dots(22)$$

Berikut merupakan perhitungan step per mm pada mode half step.

<i>Step per Revolution</i>	= 200
<i>Belt Pitch</i>	= 2
<i>Pulley Number of Teeth</i>	= 20
<i>Driver Step</i>	= 1/2 (<i>Half-Step</i>)

$$Steps/mm = \frac{(Steps\ per\ Revolution \times Driver\ Step)}{(Belt\ Pitch \times Pulley\ Number\ of\ Teeth)} = \frac{(200 \times 1/2)}{(2 \times 20)} = 10\ steps/mm \dots(23)$$

Dengan diketahui jumlah step yang dibutuhkan untuk bergerak 1 mm maka dilakukan pengujian penggerak X-Axis untuk bergerak sebesar 50 mm. Kemudian dilakukan pengukuran jarak perpindahan pada X-Axis untuk menguji ketelitian pergerakan dari X-Axis. Berikut tabel pengujian penggerak X-Axis.

Tabel 23. Tabel Pengujian Penggerak X-Axis

Percobaan ke	Jarak Percobaan (mm)	Jarak Sebenarnya (mm)	Error (%)
1	50	50	0
2	50	51	2
3	50	50	0
4	50	50	0
5	50	50	0
Σ Rerata Error (%)			0,4

Hasil pengujian penggerak X-Axis dapat berjalan dengan baik dengan presentase error sebesar 0,4 %.

9) Penggerak Z-Axis

Pada penggerak Z-Axis dilakukan pengujian dengan menggerakan motor servo menuju sudut tertentu kemudian diukur pergerakan dari Z-Axis. Pengujian dilakukan setiap 20 derajat. Berikut pengujian dari penggerak Z-Axis.

Tabel 24. Tabel Pengujian Penggerak Z-Axis

No	Sudut Servo (derajat)	Jarak Z-Axis (mm)
1	0	0
2	20	0
3	40	0
4	60	0
5	80	0
6	100	2
7	120	6
8	140	8
9	160	10
10	180	10

Berdasarkan hasil pengujian penggerak Z-Axis yang digerakan menggunakan motor servo dapat bekerja dengan baik.

d. Validasi Ahli Materi dan Ahli Media

Validasi ahli materi dan validasi ahli media digunakan untuk mengetahui tingkat kelayakan media pembelajaran. Validator melakukan penilaian dengan cara mengisi angket yang telah diberikan. Validator memberikan saran dan masukan untuk media pembelajaran melalui angket yang diberikan.

1) Hasil validasi ahli materi

Validasi materi merupakan uji kelayakan untuk melihat aspek kelayakan materi pada media pembelajaran oleh ahli materi dalam bidang materi pembelajaran yang dikembangkan. Ahli materi adalah Bapak Dr. Ir. Drs. Masduki Zakariah, M.T.

sebagai ahli materi 1 dan Bapak Muhammad Izzuddin M, S.Pd.T, M.Cs. sebagai ahli materi 2.

Penilaian ahli materi mencakup aspek kualitas materi dan kemanfaatan. Aspek kualitas materi terdiri dari 6 indikator dengan 16 butir penilaian. Aspek kemanfaatan terdiri dari 2 indikator dengan 4 butir penilaian. Data hasil validasi ahli materi dapat dilihat pada tabel 25 dan tabel 26.

Tabel 25. Data Hasil Validasi Ahli Materi

Aspek	Indikator	No Butir	Skor Maks	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rerata Skor
Kualitas Materi	Kesesuaian materi	1	4	4	4	4
		2	4	4	4	4
		3	4	4	4	4
		4	4	4	4	4
	Jumlah		16	16	16	16
	Kelengkapan materi	5	4	3	3	3
		6	4	4	4	4
	Jumlah		8	7	7	7
	Keruntutan materi	7	4	4	3	3,5
		8	4	3	3	3
	Jumlah		8	7	6	6,5
	Kejelasan materi	9	4	3	3	3
		10	4	4	4	4
	Jumlah		8	7	7	7
	Kelengkapan media cetak	11	4	3	3	3
		12	4	4	4	4
	Jumlah		8	7	7	7
	Kesesuaian dengan situasi mahasiswa	13	4	4	4	4
		14	4	3	3	3
		15	4	4	3	3,5
		16	4	4	4	4
Jumlah		8	15	14	14,5	

Tabel 26. (Lanjutan) Data Hasil Validasi Ahli Materi

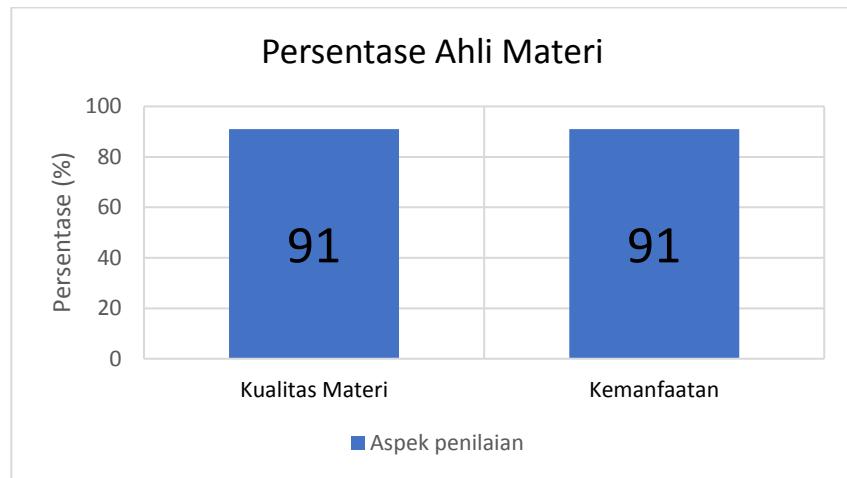
Aspek	Indikator	No Butir	Skor Maks	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rerata Skor
	Jumlah aspek kualitas materi		64	59	57	58
Kemanfaatan	Memperjelas penyampaian pesan	17	4	3	4	3,5
		18	4	4	4	4
	Jumlah		8	7	8	7,5
	Membantu proses pembelajaran	19	4	3	4	3,5
		20	4	3	4	3,5
	Jumlah		8	6	8	7
	Jumlah aspek kemanfaatan		16	13	16	14,5
	Jumlah Total		80	72	73	72,5
	Persentase (%)		100	90	91	91

Setelah didapatkan hasil dari validasi ahli materi, maka dihitung persentase kelayakan yang didapatkan dari aspek penilaian kualitas materi, kemanfaatan dan rerata ahli materi pada tabel 27.

Tabel 27. Persentases Hasil Validasi Materi

No.	Aspek Penilaian	\sum Skor Maks	Ahli 1	Ahli 2	Rerata skor	Persentase (%)
Ahli Materi						
1	Kualitas Materi	64	59	57	58	91
2	Kemanfaatan	16	13	16	14,5	91
Rerata Ahli Materi						91

Dari hasil persentase aspek penilaian yang terdiri dari aspek kualitas materi dan kemanfaatan dapat dibuat diagram batang persentase ahli materi pada gambar 56.



Gambar 56. Diagram Persentase Ahli Materi

Dosen ahli materi selain memberikan nilai kelayakan dari materi juga memberikan saran dan komentar. Berikut saran dan komentar dari dosen ahli materi. Saran dari ahli materi 1 Bapak Dr. Ir. Drs. Masduki Zakariah, M.T.

Tabel 28. Saran Ahli Materi 1

No.	Saran Ahli Materi
1	Job 1 dijadikan satu antara pengenalan media pembelajaran CNC Drawing Robot dan praktik motor servo karena untuk mengefisienkan waktu pembelajaran karena pengenalan media pembelajaran dan praktik motor servo tidak membutuhkan waktu yang terlalu lama

Saran dari ahli materi 2 Bapak Muhammad Izzuddin M, S.Pd.T, M.Cs.

Tabel 29. Saran Ahli Materi 2

No.	Saran Ahli Materi
1	Job 4 bagian source code ditambahkan flowchart
2	Ditambahkan keterangan konstanta pada source code

2) Hasil validasi ahli media

Validasi ahli media merupakan uji kelayakan untuk melihat aspek kelayakan media pada media pembelajaran oleh ahli media. Ahli media adalah

Bapak Dr. Ir. Fatchul Arifin, M.T. sebagai ahli media 1 dan Bapak Arya Sony, S.T., M.Eng. sebagai ahli media 2.

Validasi oleh ahli media mencakup 3 aspek penilaian yaitu aspek kualitas tampilan, aspek kualitas teknis, dan aspek kemanfaatan. Data hasil validasi ahli media dapat dilihat pada tabel 30 dan tabel 31.

Tabel 30. Data hasil validasi ahli media

Aspek	Indikator	No Butir	Skor Maks	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rerata Skor
Kualitas Tampilan	Tata letak komponen	1	4	4	4	4
		2	4	4	4	4
	Jumlah		8	8	8	8
	Warna	3	4	4	4	4
		4	4	4	4	4
	Jumlah		8	8	8	8
	Ukuran dan bentuk tulisan	5	4	4	4	4
		6	4	4	4	4
		7	4	4	4	4
	Jumlah		12	12	12	12
	Kejelasan komponen	8	4	4	4	4
		9	4	4	4	4
	Jumlah		8	8	8	8
Jumlah aspek kualitas tampilan			36	36	36	36
Kualitas Teknis	Unjuk kerja	10	4	4	3	3,5
		11	4	4	4	4
		12	4	4	4	4
	Jumlah		12	12	11	11,5
	Kemudahan pengoperasian	13	4	4	4	4
		14	4	4	4	4
	Jumlah		8	8	8	8
	Tingkat keamanan	15	4	3	3	3
		16	4	4	4	4
	Jumlah		8	7	7	7

Tabel 31. (Lanjutan) Data hasil validasi ahli media

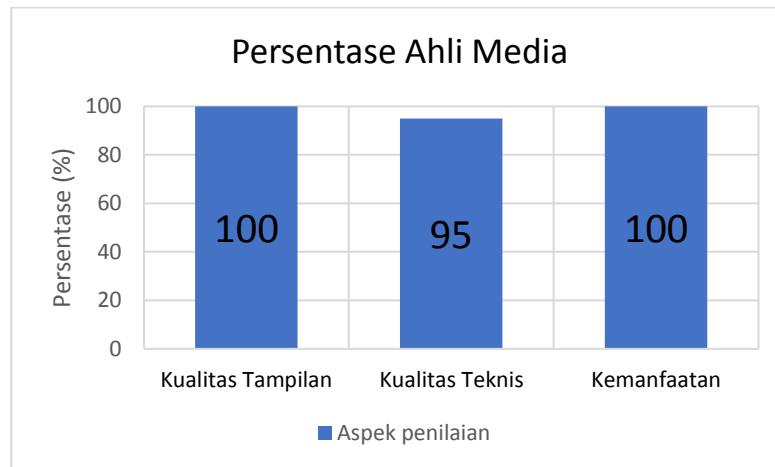
Aspek	Indikator	No Butir	Skor Maks	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rerata Skor
	Jumlah aspek kualitas teknis		28	27	26	26,5
Kemanfaatan	Merangsang kegiatan belajar siswa	17	4	4	4	4
		18	4	4	4	4
	Jumlah	8	8	8	8	8
	Meningkatkan motivasi belajar	19	4	4	4	4
		20	4	4	4	4
	Jumlah	8	8	8	8	8
	Meningkatkan keterampilan siswa	21	4	4	4	4
		22	4	4	4	4
	Jumlah	8	8	8	8	8
	Mempermudah proses pembelajaran	23	4	4	4	4
		24	4	4	4	4
	Jumlah	8	8	8	8	8
	Jumlah aspek kemanfaatan	32	32	32	32	32
	Jumlah Total	96	95	94	94,5	
	Persentase (%)	100	99	98	98	

Setelah didapatkan hasil dari validasi ahli media, maka dihitung persentase kelayakan yang didapatkan dari aspek penilaian kualitas tampilan, kualitas teknis, kemanfaatan dan rerata ahli materi pada tabel 32.

Tabel 32. Persentase Hasil Validasi Media

No.	Aspek Penilaian	Σ Skor Maks	Ahli 1	Ahli 2	Rerata skor	Persentase (%)
Ahli Materi						
1	Kualitas Tampilan	36	36	36	36	100
2	Kualitas Teknis	28	27	26	26,5	95
3	Kemanfaatan	32	32	32	32	100
Rerata Ahli Media						98

Berdasarkan data Tabel 32, persentase kelayakan ahli media aspek tampilan, aspek teknis, aspek kemanfaatan dapat digambarkan pada diagram gambar 57.



Gambar 57. Diagram Persentase Ahli Media

Dosen ahli media selain memberikan nilai kelayakan dari media juga memberikan saran dan komentar. Berikut saran dan komentar dari dosen ahli media.

Saran dari ahli media 1 Bapak Dr. Ir. Fatchul Arifin, M.T.

Tabel 33. Saran Ahli Media

No.	Saran Ahli Media
1	Pada jobsheet ditambahkan pengantar dan daftar isi
2	Pada Job 1 fokus ke pengenalan media pembelajaran CNC Drawing robot kemudian dilanjutkan job 2 praktik motor servo

Saran dari ahli media 2 Bapak Arya Sony, S.T., M.Eng.

Tabel 34. Saran Ahli Media

No.	Saran Ahli Media
1	Media pembelajaran sudah bagus dan perlu dirapikan lagi pengkabelan agar tidak mudah menyangkut

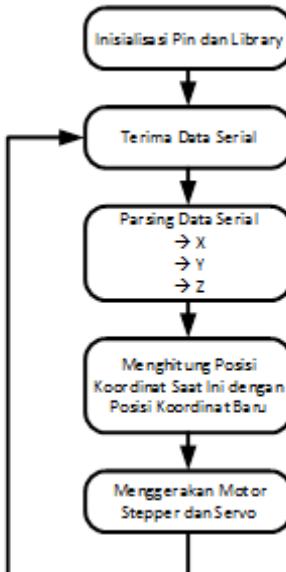
e. Hasil Revisi Media Pembelajaran

Revisi dilakukan sesuai dengan hasil saran validasi ahli materi dan validasi ahli media. Tidak semua revisi yang diberikan oleh Ahli materi dan Ahli media

dilaksanakan. Revisi dilakukan sesuai dengan kemampuan dan waktu penggerjaan yang dibutuhkan. Berikut adalah hasil revisi ahli materi dan ahli media:

a) Hasil Revisi Ahli Materi

Tabel 35. Hasil revisi ahli materi

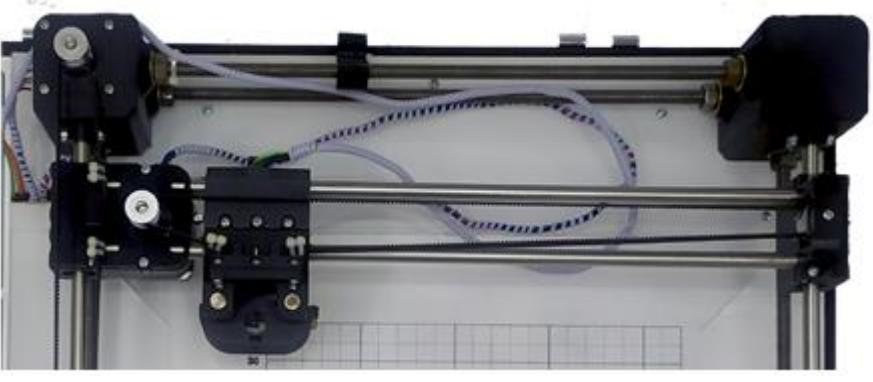
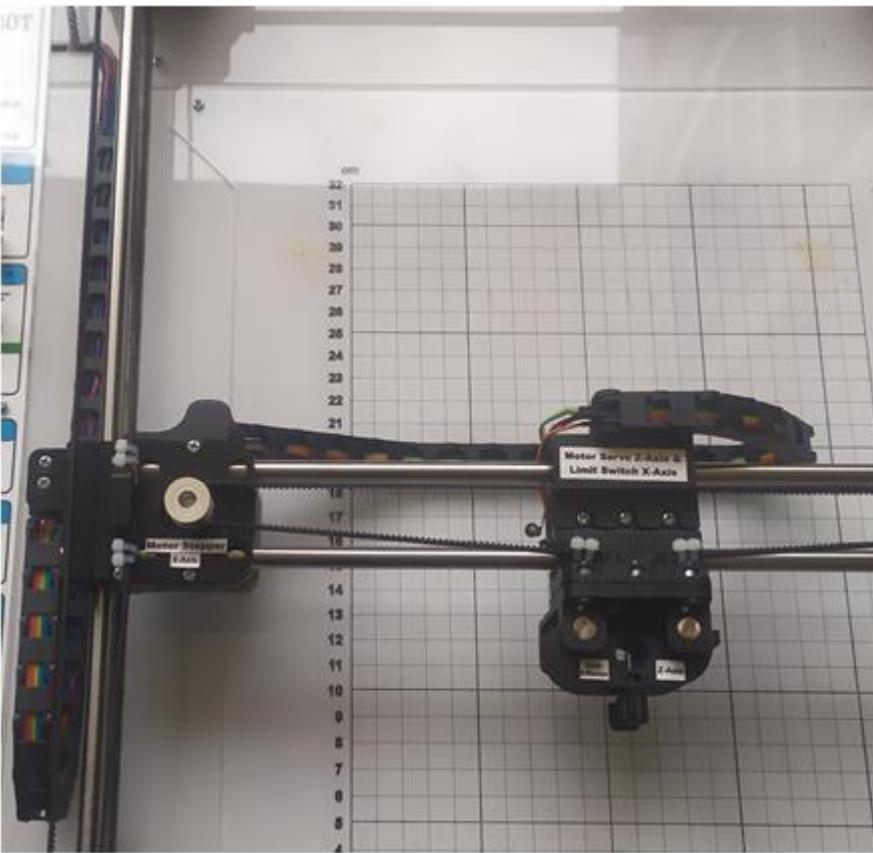
Revisi 1	
Sebelum Revisi	Job 1 pada jobsheet praktikum memuat pengenalan media pembelajaran dan praktik motor servo dengan alokasi waktu 200 menit
Saran	Job 1 membahas pengenalan media pembelajaran sedangkan job 2 membahas praktik motor servo, akan tetapi alokasi waktu diefisienkan
Hasil Revisi	Hasil revisi adalah job 1 memuat pengenalan media pembelajaran CNC Drawing Robot dan job 2 memuat praktik motor servo dengan alokasi waktu masing-masing 100 menit
Revisi 2	
Sebelum Revisi	Job 4 pada jobsheet praktikum sebelum <i>source code</i> tidak ada <i>flowchart</i> program
Saran	Menambahkan <i>flowchart</i> pada job 4 sebelum <i>source code</i>
Hasil Revisi	Ditambahkan <i>flowchart</i> sebelum <i>source code</i> pada job 4  <pre> graph TD A[Inisialisasi Pin dan Library] --> B[Terima Data Serial] B --> C[Parsing Data Serial → X → Y → Z] C --> D[Menghitung Posisi Koordinat Saat Ini dengan Posisi Koordinat Baru] D --> E[Menggerakkan Motor Stepper dan Servo] </pre>

Tabel 36. (Lanjutan) Hasil revisi ahli materi

Revisi 3	
Sebelum Revisi	<p>Konstanta pada source kode tidak memiliki keterangan</p> <pre>/* * Job 4 - Praktik Pertama * Inverse Kineamtik XY Pada CNC Drawing Robot * Via Serial Monitor (HALF STEP) */ #define XSTEP 2 #define YSTEP 3 #define XDIR 5 #define YDIR 6 #define enable 8 #define waktu_delay 500 #define stepsPermm 10 char input[15]; char del[] = "XY"; char c;</pre>
Saran	Memberikan keterangan pada konstanta <i>source code jobsheet</i> praktikum
Hasil Revisi	Memberikan komentar di samping konstanta pada <i>source code</i> tentang keterangan dan fungsi dari konstanta tersebut
Revisi 4	
Sebelum Revisi	Tidak ada Kata Pengantar dan Daftar Isi pada <i>Jobsheet</i>
Saran	Menambahkan Kata Pengantar dan Daftar Isi pada <i>Jobsheet</i>
Hasil Revisi	Ditambahkan Kata Pengantar dan Daftar Isi pada <i>Jobsheet</i>

b) Hasil Revisi Ahli Media

Tabel 37. Hasil revisi ahli media

Revisi 1	
Sebelum Revisi	<p>Kabel pada motor stepper dan motor servo hanya diberi pengikat kabel</p> 
Saran	<p>Merapikan kabel pada motor stepper dan motor servo</p>
Hasil Revisi	<p>Dutambahkan cable rail agar kabel lebih rapi dan tidak mudah untuk menyangkut</p> 

4. Implement

a. Hasil uji validitas instrumen

Instrumen yang telah dilakukan validasi instrumen oleh ahli selanjutnya diuji validitas tiap butir pertanyaan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui valid tidaknya butir instrumen untuk pengambilan data. Tabel 36 menunjukkan hasil uji validitas pada butir ke-1 instrumen.

Tabel 38. Hasil Uji Validitas Instrumen butir 1

No	Responden	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	responden 1	4	101	404	16	10201
2	responden 2	3	100	300	9	10000
3	responden 3	3	95	285	9	9025
4	responden 4	4	98	392	16	9604
5	responden 5	4	109	436	16	11881
6	responden 6	3	97	291	9	9409
7	responden 7	3	97	291	9	9409
8	responden 8	3	86	258	9	7396
9	responden 9	4	101	404	16	10201
10	responden 10	3	113	339	9	12769
11	responden 11	4	102	408	16	10404
12	responden 12	4	102	408	16	10404
13	responden 13	3	97	291	9	9409
14	responden 14	3	99	297	9	9801
15	responden 15	3	97	291	9	9409
16	responden 16	3	97	291	9	9409
17	responden 17	2	84	168	4	7056
18	responden 18	2	81	162	4	6561
19	responden 19	2	69	138	4	4761
20	responden 20	3	92	276	9	8464
Σ		63	1917	6130	207	185573

Dari tabel di atas dapat diambil nilai sebagai berikut:

$$\begin{array}{ll}
 \Sigma X = 63 & \Sigma X^2 = 207 \\
 \Sigma Y = 1917 & \Sigma Y^2 = 185573 \\
 \Sigma XY = 6130 & N = 20
 \end{array}$$

Valid atau tidak validnya butir ke-1 instrumen dapat diketahui dengan mengorelasikan skor butir (X) terhadap skor total (Y). Berikut adalah hasilnya:

$$r_{xy} = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{\{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}} \quad \dots \dots \dots (24)$$

$$r_{xy} = \frac{20 \times 6130 - (63)(1917)}{\sqrt{\{20 \times 207 - (63)^2\} \{20 \times 185573 - (1917)^2\}}} \quad \dots \dots \dots (25)$$

$$r_{xy} = 0,73138699261467 \quad \dots \dots \dots (26)$$

Berdasarkan tabel nilai *r product moment* dengan jumlah $N = 20$ menggunakan taraf signifikan 5% maka *r* tabel yang digunakan 0,444. Instrumen dikatakan valid apabila nilai *r* hitung (r_{xy}) lebih dari atau sama dengan (\geq) *r* tabel. Berdasarkan hasil perhitungan butir ke-1 instrumen nilai *r* hitung 0,731 sehingga butir ke-1 valid karena $r_{xy} \geq 0,444$. Hasil perhitungan seluruh butir instrumen dapat dilihat pada tabel 39.

Tabel 39. Hasil Analisis Item Instrumen

Butir	R		Keterangan	Butir	R		Keterangan
	hitung	tabel			hitung	tabel	
1	0,731	0,444	Valid	16	0,488	0,444	Valid
2	0,478	0,444	Valid	17	0,478	0,444	Valid
3	0,550	0,444	Valid	18	0,458	0,444	Valid
4	0,560	0,444	Valid	19	0,571	0,444	Valid
5	0,598	0,444	Valid	20	0,538	0,444	Valid
6	0,614	0,444	Valid	21	0,488	0,444	Valid
7	0,594	0,444	Valid	22	0,624	0,444	Valid
8	0,529	0,444	Valid	23	0,630	0,444	Valid
9	0,582	0,444	Valid	24	0,493	0,444	Valid
10	0,585	0,444	Valid	25	0,492	0,444	Valid
11	0,550	0,444	Valid	26	0,656	0,444	Valid
12	0,691	0,444	Valid	27	0,563	0,444	Valid
13	0,540	0,444	Valid	28	0,566	0,444	Valid
14	0,513	0,444	Valid	29	0,602	0,444	Valid
15	0,491	0,444	Valid				

b. Hasil uji reliabilitas instrumen

Pengujian reliabilitas instrumen menggunakan rumus alpha. Diketahui nilai n adalah 29, nilai Σb^2 adalah 8,563 dan nilai σ_t^2 adalah 43,305. Hasil pengujian reliabilitas menggunakan rumus alpha sebagai berikut:

$$ri = \left(\frac{n}{(n-1)} \right) \left(1 - \frac{\Sigma b^2}{\sigma_t^2} \right) \dots \dots \dots \quad (27)$$

$$ri = \left(\frac{29}{(29-1)} \right) \left(1 - \frac{8,563}{43,305} \right) = 0,831 \dots \dots \dots \quad (28)$$

Berdasarkan hasil pengujian reliabilitas ri adalah 0,831 apabila disesuaikan dengan tabel terkait kategori koefisien reliabilitas maka instrumen termasuk dalam kategori reliabilitas **sangat tinggi** sehingga dapat dipercaya untuk digunakan.

c. Hasil uji coba pengguna

Uji coba penggunaan oleh responden atau mahasiswa dilakukan kepada mahasiswa yang sedang dan atau telah mengikuti mata kuliah Robotika. Sebelum melakukan pengujian penggunaan kepada mahasiswa instrumen penilaian telah dilakukan validasi instrumen oleh ahli instrumen. Tabel 40 merupakan persentase hasil uji coba responden.

Tabel 40. Persentase Hasil Responden (Mahasiswa)

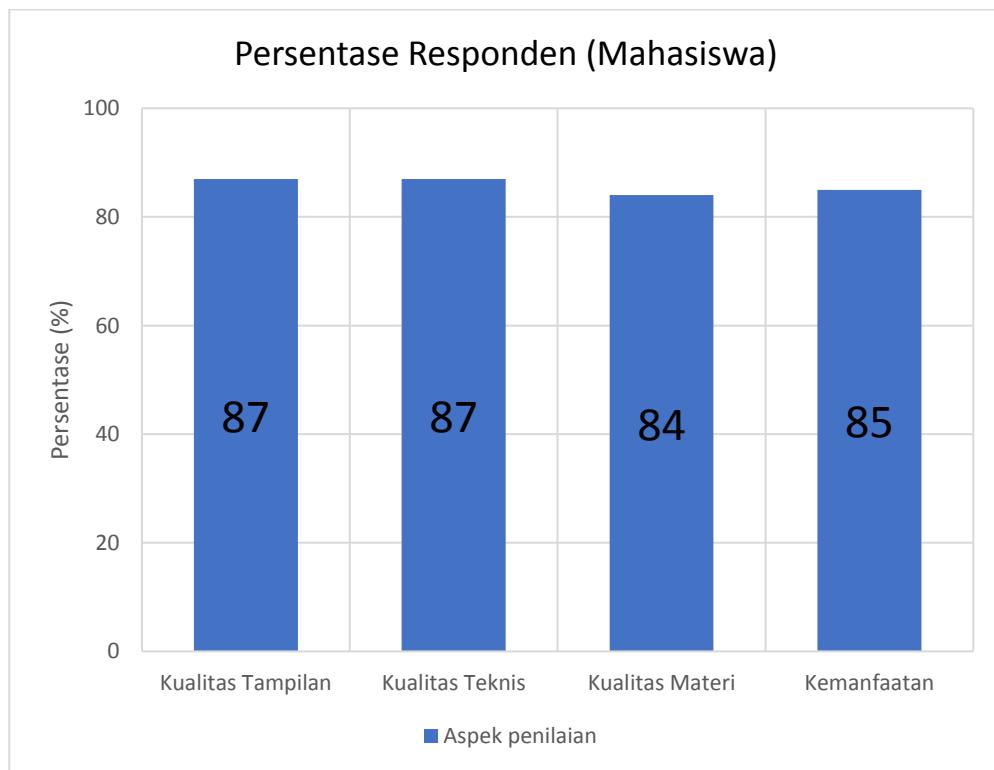
No	Responden	Jumlah Skor	Skor Max	Persentase (%)
1	responden 1	101	116	87
2	responden 2	100	116	86
3	responden 3	95	116	82
4	responden 4	98	116	84
5	responden 5	109	116	94
6	responden 6	97	116	84
7	responden 7	97	116	84
8	responden 8	86	116	74
9	responden 9	101	116	87
10	responden 10	113	116	97
11	responden 11	102	116	88
12	responden 12	102	116	88
13	responden 13	97	116	84
14	responden 14	99	116	85
15	responden 15	97	116	84
16	responden 16	97	116	84
17	responden 17	105	116	91
18	responden 18	100	116	86
19	responden 19	85	116	73
20	responden 20	107	116	92
Jumlah (Σ)		1988	2320	86

Setelah didapatkan hasil uji coba responden, maka dihitung persentase yang didapatkan dari aspek penilaian kualitas tampilan, kualitas teknis, kualitas materi, kemanfaatan dan rerata responden pada tabel 41.

Tabel 41. Persentase Aspek Penilaian Responden (Mahasiswa)

No.	Aspek Penilaian	Σ Skor Maks	Rerata skor	Persentase (%)
1	Kualitas Tampilan	36	31,3	87
2	Kualitas Teknis	24	20,8	87
3	Kualitas Materi	24	20,15	84
4	Kemanfaatan	32	27,15	85
Jumlah		116	99,4	86

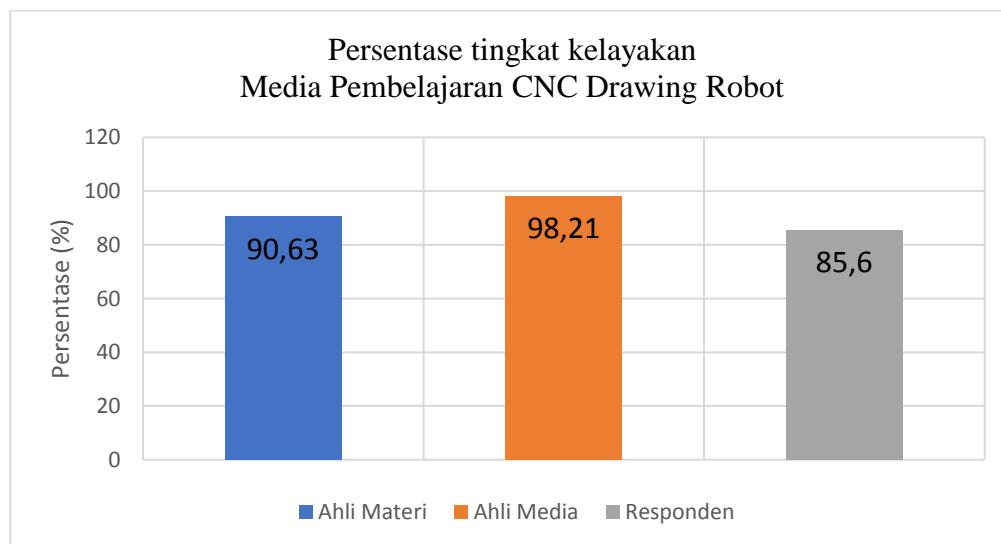
Berdasarkan tabel persentase aspek penilaian responden (mahasiswa) maka dapat dibuat diagram batang pada gambar 58.



Gambar 58. Diagram Persentase Responden (Mahasiswa)

5. Evaluate

Evaluate merupakan hasil akhir dari uji kelayakan oleh ahli materi, ahli media, dan responden (mahasiswa). Persentase kelayakan oleh ahli materi mendapatkan 90,63 %, oleh ahli media 98,21 %, dan dari responden atau pengguna 85,60 %. Dapat dikatakan media pembelajaran CNC Drawing Robot sangat layak menjadi media pembelajaran pada mata kuliah Robotika. Hasil dari persentase evaluasi kelayakan dapat dilihat pada gambar 59.



Gambar 59. Diagram Evaluasi Persentase Kelayakan

B. Pembahasan Hasil Penelitian

Pembahasan hasil penelitian ditujukan untuk menjawab tujuan penelitian sesuai dengan hasil data yang diperoleh.

1. Desain mekanik media pembelajaran inverse kinematik dengan CNC drawing robot pada mata kuliah Robotika di Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik UNY. Desain mekanik pada media pembelajaran menggunakan model mesin CNC cartesian yang memiliki 3 buah axis/ sumbu

yaitu sumbu X, Y, dan Z. Untuk menggerakan sumbu X dan sumbu Y menggunakan motor stepper sedangkan untuk menggerakan sumbu Z menggunakan motor servo. Penggunaan motor stepper pada sumbu X dan Y dipilih karena memiliki ketelitian putaran dan ketepatan putaran yang sangat bagus sehingga mesin CNC dapat bergerak dengan presisi. Sedangkan pada sumbu Z menggunakan motor servo dipilih karena hanya dibutuhkan untuk menggerakan alat tulis untuk menggambar sehingga dibutuhkan gerakan naik dan turun saja tanpa butuh ketelitian gerakan yang tinggi. Dimensi keseluruhan dari blok mekanik adalah 43 cm x 50 cm x 9,4 cm. Bagian penting penggerak lainnya yaitu menggunakan Stainless Steel Rod dan Linear Bearing 8 mm. Selain itu penghubung antara motor stepper dan bagain penggerak menggunakan timing pulley dengan spesifikasi pitch 2 mm yang memiliki jumlah gigi 20 dan timing belt dengan pitch 2 mm.

2. Rancangan program kontroler media pembelajaran inverse kinematik dengan CNC drawing robot pada mata kuliah Robotika di Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik UNY. Program yang digunakan menggunakan Arduino IDE. Program yang dibuat memuat kendali motor servo, motor stepper, inverse kinematik dan GRBL. Program yang digunakan menjalankan fungsi-fungsi dasar dari masing-masing percobaan agar mudah dipelajarai. Untuk GRBL digunakan aplikasi selain Arduino IDE yaitu LaserGRBL yang digunakan sebagai interface penghubung antara komputer dan media pembelajaran CNC Drawing Robot. Masing-masing program yang

dibuat akan dipraktikan pada jobsheet praktikum yang terdiri dari 6 buah job praktikum.

3. Unjuk kerja mekanik media pembelajaran inverse kinematik dengan CNC drawing robot pada mata kuliah Robotika di Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik UNY. Unjuk kerja mekanik dilakukan pengujian pada penggerak X-Axis yang bekerja dengan baik dengan persentase error sebesar 0,4 %. Unjuk kerja mekanik dilakukan pengujian pada penggerak Y-Axis yang bekerja dengan baik dengan persentase error sebesar 1,2 %. Unjuk kerja mekanik dilakukan pengujian pada penggerak Z-Axis yang bekerja dengan baik.
4. Unjuk kerja program kontroler media pembelajaran inverse kinematik dengan CNC drawing robot pada mata kuliah Robotika di Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik UNY. Program kontroler terdapat pada jobsheet praktikum yang terdiri dari 6 buah job yaitu : 1) Pengenalan CNC Drawing Robot, 2) Praktik Motor Servo, 3) Praktik Motor Stepper (Full-Step), 4) Praktik Motor Stepper (Half-Step), 5) Inverse Kinematik, dan 6) GRBL pada CNC Drawing Robot. Setiap program telah dicoba dijalankan pada media pembelajaran dan semua program dapat bekerja dengan baik.
5. Tingkat kelayakan media pembelajaran inverse kinematik dengan CNC drawing robot pada mata kuliah Robotika di Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik UNY. Uji kelayakan oleh dua orang ahli media untuk melihat kelayakan media pada media pembelajaran. Aspek yang dinilai meliputi kualitas tampilan, kualitas teknis, dan kemanfaatan. Hasil persentase

aspek kualitas tampilan 100%, persentase aspek kualitas teknis 95%, dan persentase aspek kemanfaatan 100%. Hasil persentase retara ahli media adalah 98% dengan kategori Sangat Layak.

6. Tingkat kelayakan materi pada media pembelajaran inverse kinematik dengan CNC drawing robot pada mata kuliah Robotika di Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik UNY. Uji kelayakan oleh dua orang ahli materi untuk melihat kelayakan materi pada media pembelajaran. Aspek yang dinilai meliputi kualitas materi dan kemanfaatan. Hasil persentase aspek kualitas materi 91% dan persentase aspek kemanfaatan 91%. Hasil persentase retara ahli materi adalah 91% dengan kategori Sangat Layak.
7. Tingkat kelayakan materi pada media pembelajaran inverse kinematik dengan CNC drawing robot pada mata kuliah Robotika di Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik UNY. Hasil uji coba oleh responden dengan aspek yang dinilai meliputi kualitas tampilan, kualitas teknis, kualitas materi, dan kemanfaatan. Hasil persentase aspek kualitas tampilan 87%, persentase aspek kualitas teknis 87%, persentase kualitas materi 84% dan persentase aspek kemanfaatan 85%. Hasil persentase retara pendapat responden adalah 86% dengan kategori Sangat Layak.

C. Keterbatasan Penelitian dan Produk

Penelitian dan produk yang dikembangkan tidak terlepas dari adanya keterbatasan, berikut adalah keterbatasan penelitian dan produk yang dihasilkan:

1. Media pembelajaran dan jobsheet praktikum yang dibuat masih terbatas, namun dapat diatasi dengan membagikan softfile jobsheet praktikum kepada responden.
2. Pengembangan media pembelajaran masih terbatas dengan kompetensi yang belum bisa memenuhi seluruh kebutuhan mata kuliah Robotika.
3. Perlu penyempurnaan bagian packaging dan mekanik penggerak agar lebih kokoh dan lebih ringan sehingga dapat digunakan menjadi media pembelajaran yang lebih awet.