

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian berdasarkan prosedur pengembangan penelitian menurut Sugiyono meliputi tahapan (1) potensi dan masalah, (2) pengumpulan data, (3) desain produk, (4) validasi desain, (5) revisi produk, (6) uji coba produk, (7) revisi produk, (8) uji coba pemakaian, (9) revisi produk, (10) produksi masal. Berikut penjelasan dari setiap tahapan pengembangan penelitian.

1. Potensi dan Masalah

Penelitian ini berawal dari potensi dan masalah yang ada di SMK Negeri 2 Pengasih pada kompetensi keahlian Teknik Elektronika Industri. Potensi dan masalah diperoleh dari pengamatan dan observasi terhadap siswa yang menempuh mata pelajaran perekayasa sistem robotika. Berikut hasil pengamatan dan observasi.

- 1) Media *trainer* robotika terbatas dan masih berupa robot analog yang kurang mendukung untuk pembelajaran tingkat lanjut.
- 2) Media pembelajaran yang digunakan yaitu masih menggunakan aplikasi simulator dan *trainer* mikrokontroler sederhana.
- 3) Buku pendamping praktikum berupa *jobsheet*
- 4) Siswa tertarik saat pelaksanaan praktikum pemrograman maupun saat mengerjakan tugas pada *jobsheet*.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data mengenai Kompetensi Dasar (KD) dan indikator yang akan dicapai. KD pada silabus perancangan sistem robotika yang ingin dicapai yaitu memahami arsitektur struktur susunan dan komponen sistem robot serta menerapkan sistem robotika sebagai objek yang dikontrol. Adapun indikator dari ketercapaian KD adalah sebagai berikut. a) memahami arsitektur dan susunan komponen pada sistem robotika, b) memahami sistem kinematik dan dinamik dalam pembuatan robot, c) memahami sistem penggerak pada robot, d) memahami sistem sensor robotik, e) menerapkan berbagai jenis model robotik dengan teknik kontrol menggunakan mikrokontrol dan PLC.

3. Desain Produk

Hasil desain pada penelitian ini merupakan wujud dari perancangan media pembelajaran robot *line follower* yang berupa *trainer* dan *jobsheet* praktik.

a. Desain *trainer*

Bagian elektronik *trainer* robot *line follower* ini terbagi dalam enam blok, yaitu blok rangkaian *power supply*, *downloader*, sistem mikrokontroler, *driver* motor, sensor *rotary encoder*, serta sensor garis dan warna, sedangkan bagian mekanik hanya terdiri dari pencapit, badan robot, penutup robot, dan roda. Bagian-bagian tersebut memiliki fungsi tersendiri. Bagian elektronik berfungsi untuk menjalankan robot dari kinerja setiap komponen aktuator yang ada. Setelah bagian elektronik bekerja dengan baik, proses diteruskan kepada bagian mekanik untuk menggerakkan robot secara langsung. Bagian elektronik memiliki pengendali, yaitu mikrokontroler. Mikrokontroler berfungsi untuk mengatur proses

aktuator pada robot yang akan dilanjutkan pada gerak mekanik. Mekanik robot memiliki tiga fungsi, yaitu membentuk robot, menjalankan robot atau menginteraksikan robot pada lingkungan, dan melindungi elektronik robot.

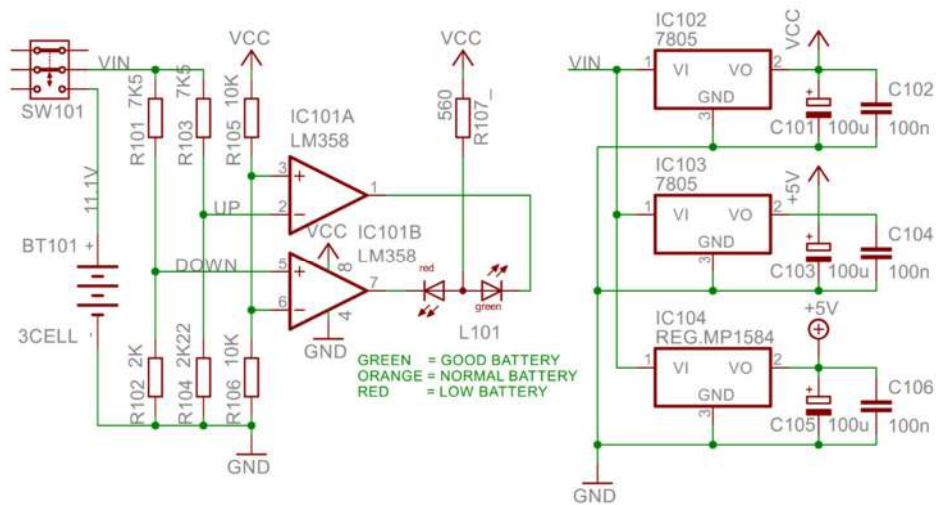
1) Skema Rangkaian

a) Rangkaian *Power Supply*

Rangkaian *power supply* merupakan sumber dari penyedia dan pembagian daya untuk menyalakan *trainer*. Rangkaian *power supply* ini bersumber dari baterai yang diputus dengan saklar. Dalam rangkaian ini, terdapat rangkaian pembagi tegangan untuk mengubah tegangan baterai menjadi beberapa tegangan yang lebih rendah. Tegangan tersebut kemudian dibandingkan dengan tegangan stabil *regulator* untuk dijadikan sebagai indikator tegangan baterai.

Indikator baterai akan bekerja bergantian sesuai dengan kondisi tegangan baterai yang digunakan. Rangkaian ini diatur akan menyala merah jika baterai lemah, jingga jika baterai sedang, dan hijau jika baterai dalam kondisi baik atau penuh. Indikator memerlukan tambahan komponen seperti *OpAmp* dan resistor agar dapat membandingkan tegangan hasil pembagi tegangan dengan tegangan stabil.

Pada rangkaian *power supply*, terdapat *regulator* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan baterai menjadi tegangan yang stabil. Hasil dari *regulator* ini terdapat tiga keluaran untuk memenuhi kebutuhan beberapa rangkaian yang membutuhkan tegangan lebih kecil. Rangkaian *regulator* menghasilkan tegangan kurang lebih 5 VDC. Sumber rangkaian *power supply* adalah baterai yang bekerja pada tegangan maksimal 13 VDC. Skema rangkaian *power supply* dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Skema Rangkaian *Power Supply*

b) Rangkaian *Downloader*

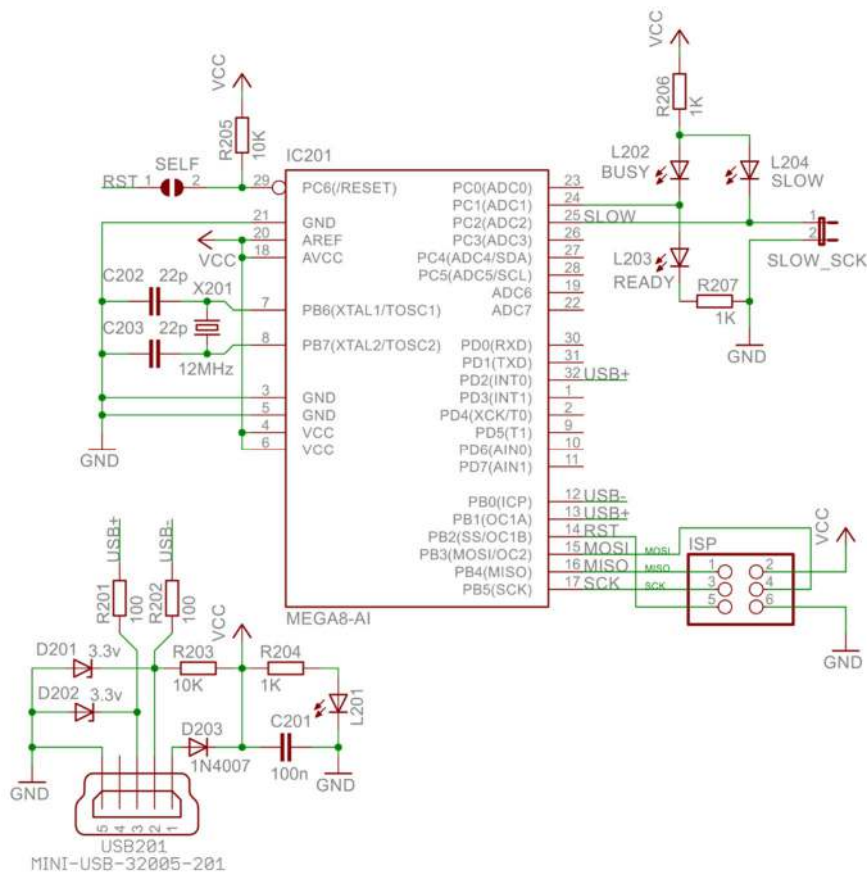
Rangkaian *downloader* berfungsi untuk meneruskan pengiriman program dari komputer menuju IC (*Integrated Circuit*) mikrokontroler ATmega32 pada *trainer*. Rangkaian ini terdiri dari USB *port* untuk menyambungkan *trainer* ke komputer, mikrokontroler ATmega8 untuk mengolah data dari komputer agar dapat diterima mikrokontroler inti, yaitu ATmega32, saat proses pengiriman.

Rangkaian *downloader*, yang sering disebut *USBasp*, membutuhkan mikrokontroler agar dapat bekerja. Dalam pembuatannya, *USBasp* memerlukan *downloader* lain untuk memasukkan program ke dalam mikrokontroler. Penggunaan *USBasp* lain dapat dijadikan solusi. Akan tetapi, jika tidak ada *USBasp* lain, maka dapat menggunakan *downloader* jenis lain, salah satunya adalah *downloader paralel*.

USBasp bekerja dengan menggunakan frekuensi *clock* 12Mhz untuk mendukung kinerja dari rangkaian. Rangkaian ini dapat mengirim program ke mikrokontroler tujuan dengan mode cepat dan mode lambat. Mode tersebut dapat

digunakan ataupun tidak dengan cara menghubungkan soket yang telah disediakan menuju pin mikrokontroler dari *USBasp*.

Untuk mengetahui kondisi rangkaian *downloader* dengan mudah, perlu ditambahkan beberapa indikator. Indikator tersebut adalah indikator siap, proses, mode pelan, dan indikator saat rangkaian terhubung dengan komputer. Rangkaian ini bekerja pada tegangan 5 VDC. Rangkaian *downloader* tersebut dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Skema Rangkaian *Downloader*

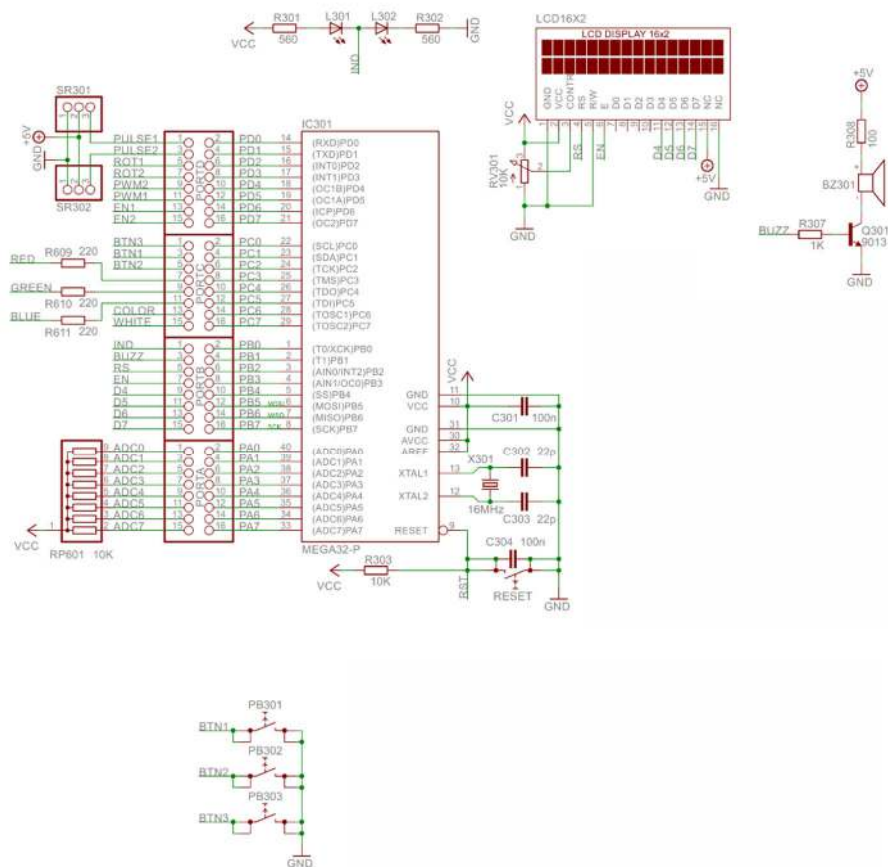
c) Rangkaian Sistem Mikrokontroler

Rangkaian sistem mikrokontroler berisi sebuah IC (*Integrated Circuit*) mikrokontroler ATmega32 beserta rangkaian sistem minimal berupa tambahan

kristal frekuensi dan beberapa kapasitor. Rangkaian ini berfungsi sebagai pusat kendali karena IC mikrokontroler adalah otak dari *trainer* yang dapat diprogram sesuai kemauan.

Rangkaian sistem ini dilengkapi dengan dua indikator LED, satu *buzzer*, satu LCD 16x2 dan empat *push button*. Beberapa tambahan tersebut digunakan agar rangkaian dapat dioperasikan untuk praktikum sederhana tanpa ada tambahan komponen dari luar *trainer*. Ada tiga buah tombol (*push button*) yang digunakan untuk memberi masukan perintah dari tekanan pada tombol oleh pengguna dan ada satu tombol *reset* yang digunakan untuk mengulang program yang telah dijalankan oleh mikrokontroler.

LED, LCD 16x2, dan *buzzer* berfungsi sebagai keluaran dari perintah yang sudah ditanamkan pada mikrokontroler. Rangkaian sistem mikrokontroler ini bekerja pada tegangan 5 VDC dengan frekuensi kerja 16MHz yang dapat dilihat pada gambar 20.

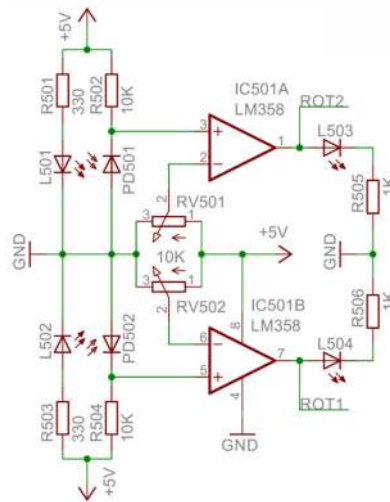


Gambar 20. Skema Rangkaian Sistem Mikrokontroler

d) Rangkaian *Driver* Motor

Rangkaian *driver* motor menggunakan IC L298 yang berfungsi sebagai pengendali putaran motor dari perintah mikrokontroler. Rangkaian ini bekerja sebagai penguat dari keluaran mikrokontroler yang mempunyai arus kecil agar mampu menggerakkan motor DC yang membutuhkan arus besar. Rangkaian ini bekerja pada tegangan 5 VDC dan tegangan baterai.

Untuk menggerakkan motor dan mengatur kecepatan motor, IC penguat motor diberi PWM (*Pulse Width Modulation*) dari mikrokontroler yang berfungsi prinsipnya mematikan/menyalakan motor bergantian secara cepat tergantung



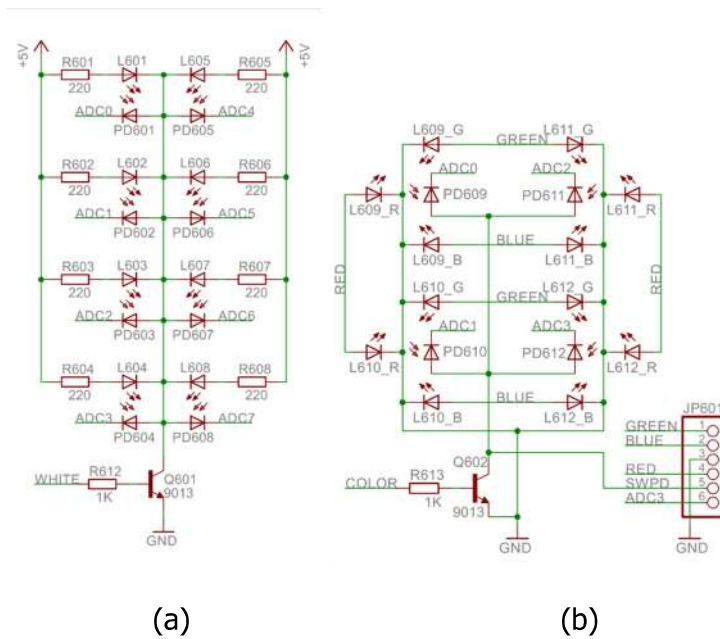
Gambar 22. Skema Rangkaian Sensor *Rotary Encoder*

f) Rangkaian Sensor Garis dan Warna

Sensor garis dan sensor warna merupakan penerapan dari sensor cahaya yang telah dimodifikasi. Rangkaian sensor ini tidak menggunakan tambahan komparator sehingga langsung dibaca oleh mikrokontroler melalui fitur ADC (*Analog to Digital Converter*). Karena keterbatasan kaki ADC pada mikrokontroler, sensor warna dan sensor garis menggunakan prinsip *switching* untuk mengganti fungsi yang dipilih dengan cepat. Sensor garis merupakan gabungan dari photodiode dan LED putih yang menggunakan prinsip pemantulan cahaya untuk pembacaan sensor garis.

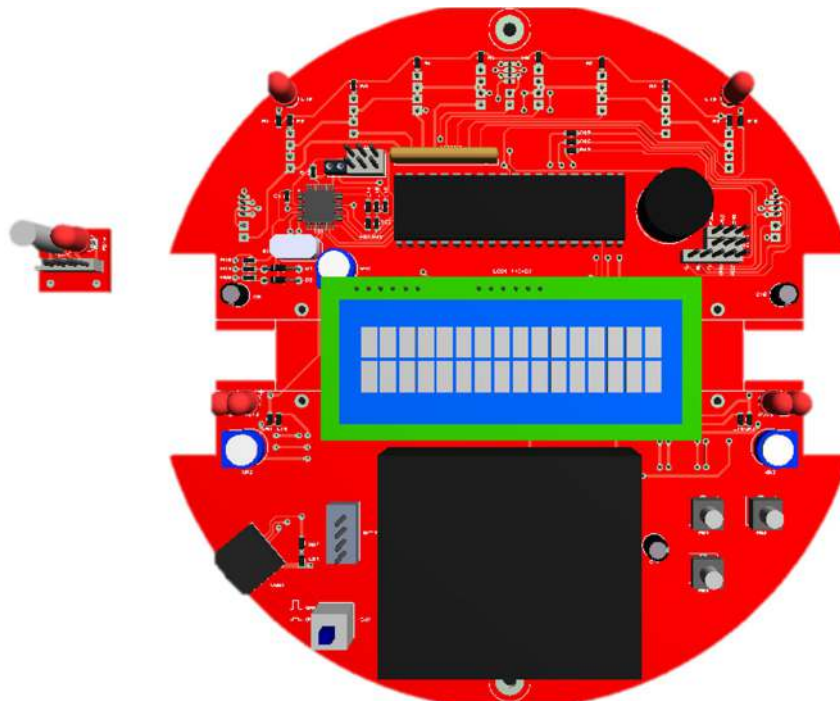
Sensor warna pada robot menggunakan prinsip pemantulan cahaya, dengan photodiode dan LED RGB (*Red Green Blue*). *Switching* sensor garis dan warna menggunakan transistor yang dianggap lebih layak dikendalikan dengan pergantian cepat oleh mikrokontroler. Pembacaan sensor warna juga menggunakan proses *switching* LED bergantian antara LED Merah, LED Hijau, dan LED Biru sehingga terdapat hasil pembacaan warna RGB yang berbeda. Rangkaian

sensor garis dan sensor warna ini bekerja pada tegangan 5 VDC. Skema rangkaian ditunjukkan pada gambar 23.



Gambar 23. Skema Rangkaian (a) Sensor Garis dan (b) Sensor Warna

2) Desain Elektronik

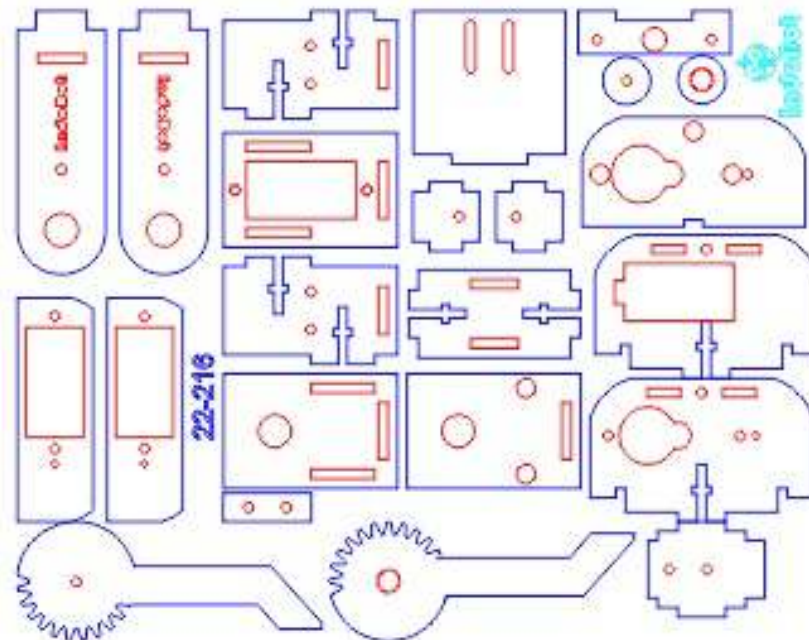


Gambar 24. Desain Elektronik Rangkaian *Trainer Robot Line Follower*

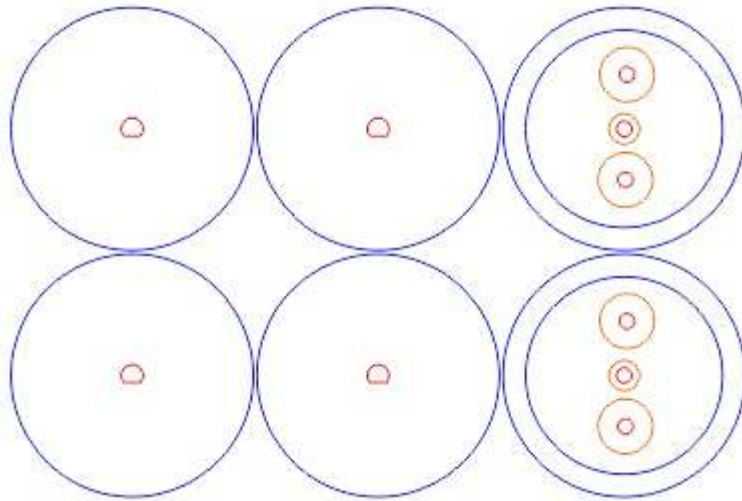
Gambar 24 adalah desain elektronik *trainer* robot yang didesain dengan menggunakan *software Ares Proteus 7.10*. Desain dimulai dengan memilih ukuran komponen yang sesuai kemudian dilanjutkan menata pada tempat yang dikehendaki. Setelah penataan komponen selesai, dilakukan penghubungan jalur antarkomponen dan pengaturan tampilan 3D.

3) Desain Mekanik

Mekanik *trainer* dibuat dengan menggunakan bahan *acrylic* yang memiliki ketebalan 2mm hingga 3mm. Mekanik *trainer* digunakan untuk pendukung aktuator robot. Pembuatan mekanik dimulai dari mendesain rancangan mekanik dengan *software CorelDraw X4*. Kemudian, rancangan mekanik didesain lebih lengkap dan siap cetak seperti pada gambar 25 dan gambar 26. Setelah desain selesai, desain tersebut dicetak pada *acrylic* dengan teknik *laser cutting* selanjutnya dirangkai.



Gambar 25. Desain Mekanik Pencapit



Gambar 26. Desain Mekanik Roda *Trainer Robot Line Follower*

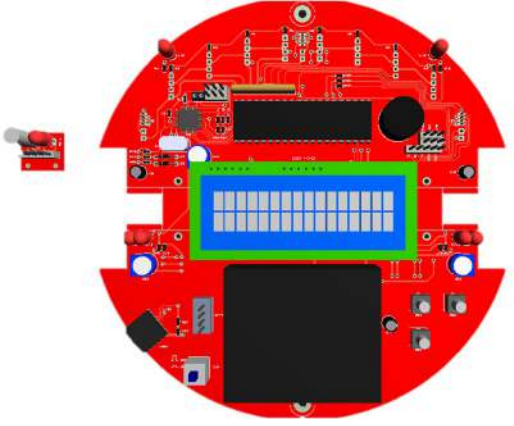
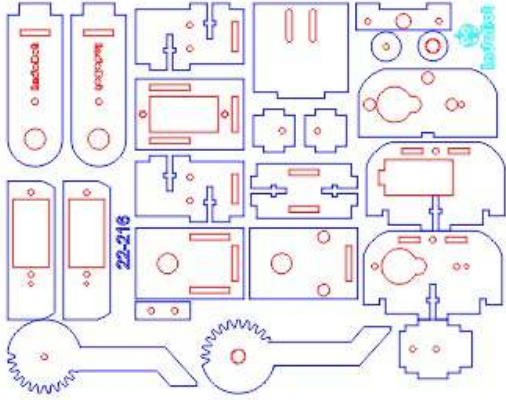
b. Desain Jobsheet

Jobsheet media pembelajaran robot *line follower* berisi pedoman bagi siswa untuk praktikum menggunakan media pembelajaran robot *line follower*. *Jobsheet* berisi (1) tujuan, (2) dasar teori, (3) gambar rangkaian, (4) alat dan bahan, (5) keselamatan kerja, (6) langkah kerja, dan (7) tugas.

4. Validasi Desain

Validasi desain produk dilakukan oleh dua validator, yaitu dosen pembimbing TAS dan guru mata pelajaran perekayasaan sistem robotika SMK Negeri 2 Pengasih. Validasi dilakukan dengan mempresentasikan desain awal *trainer*. Hasil validasi desain dapat dilihat seperti tabel 10.

Tabel 10. Hasil Validasi Desain

No.	Desain Awal	Hasil Validasi
1.		<p>Dosen: Perlu Penambahan ekstensi <i>port</i> untuk percobaan rangkaian luar robot.</p> <p>Guru: Sudah bagus menggunakan ATmega32.</p>
2.		<p>Dosen: Diperhatikan tingkat kekokohan, kerumitan, dan kinerja pencapit.</p> <p>Guru: Perbaiki desain gear yang kurang halus.</p>
3.	<p><i>Jobsheet</i> berisi (a) tujuan, (b) dasar teori, (c) gambar rangkaian, (d) alat dan bahan, (e) keselamatan kerja, (f) langkah kerja, dan (g) tugas.</p>	<p>Dosen: Perlu penambahan pendahuluan, pengenalan robot, glosarium dan perbaikan tingkat kerumitan program jika menggunakan <i>software CVAVR</i>.</p> <p>Guru: perbaikan tingkat kerumitan program jika menggunakan <i>software CVAVR</i>.</p>

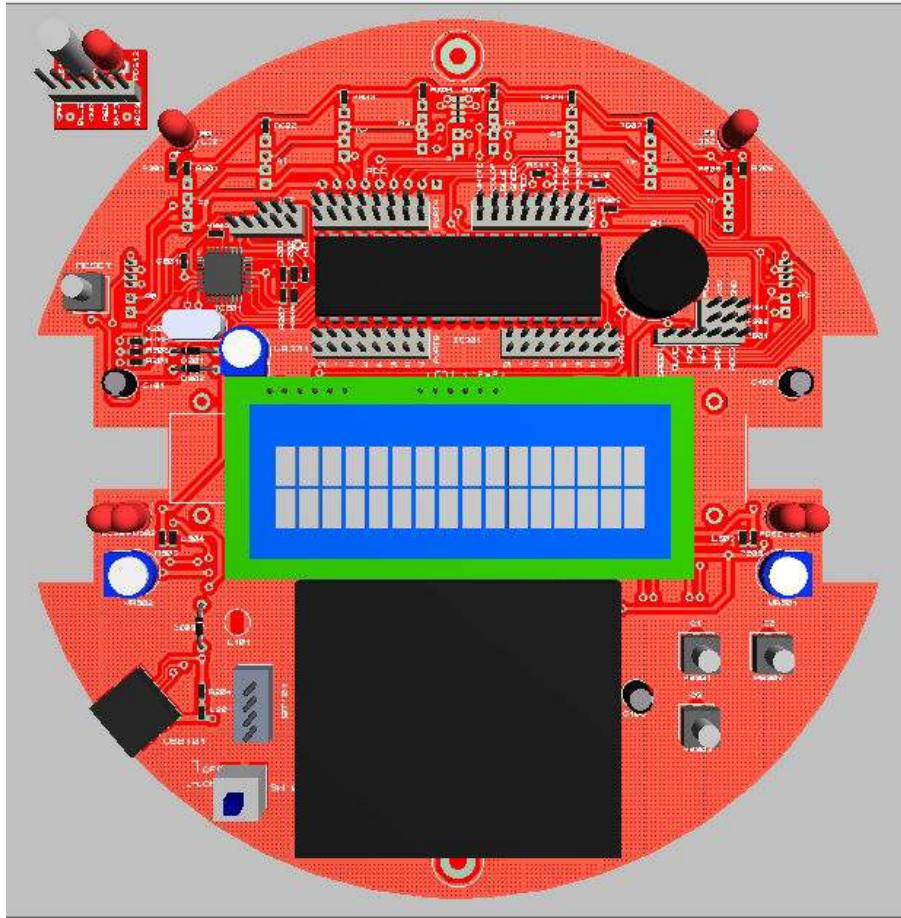
5. Revisi Desain

Setelah desain awal divalidasi oleh para ahli, desain direvisi sesuai saran para ahli. Untuk desain elektronik, *trainer* ditambahkan *port* ekstensi untuk memudahkan penyambungan saat praktikum dari luar *trainer*. Perubahan desain elektronik robot yang telah direvisi ditunjukkan pada gambar 27.

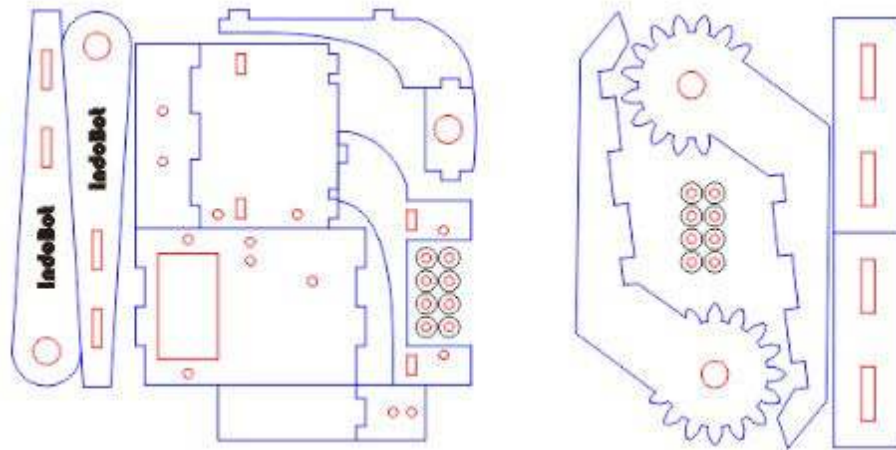
Desain pencapit robot diubah menjadi lebih sederhana, lebih kokoh, dan desain gerigi diubah menjadi lebih besar serta pas satu sama lain agar pergerakan lebih halus. Perubahan desain mekanik pencapit robot yang telah direvisi ditunjukkan pada gambar 28. Dengan mempertimbangkan aspek keamanan komponen elektronik pada robot, peneliti menambahkan desain penutup keseluruhan robot. Kegunaan penutup tersebut agar komponen penting dari robot tersebut tidak langsung tersentuh saat robot dipegang. Hal ini dimaksudkan agar komponen jauh lebih awet, aman, dan tidak memengaruhi kinerja saat robot dalam kondisi menyala.

Desain penutup pada robot dilengkapi dengan tulisan-tulisan agar lebih mudah mengetahui posisi titik ukur dan koneksi yang diinginkan pengguna. Ada beberapa paduan warna tulisan untuk membedakan fungsi dari koneksi yang dimaksud. Desain penutup robot ditunjukkan pada gambar 29 dan tulisan yang tercetak pada penutup robot ditunjukkan pada gambar 30.

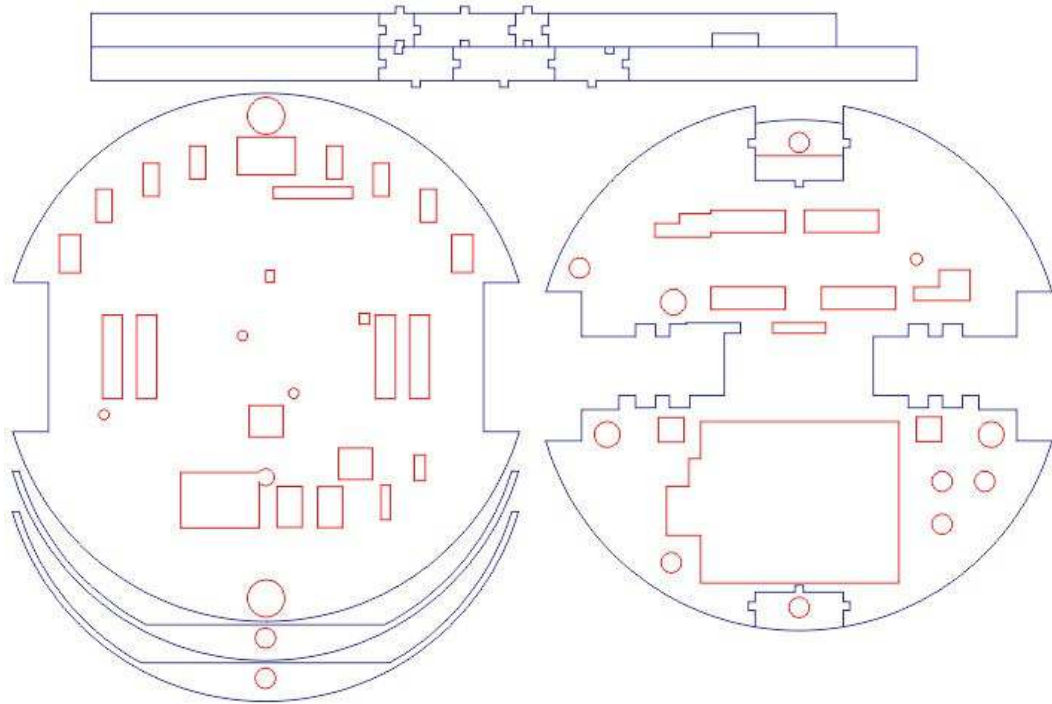
Desain *jobsheet* berubah yang awalnya menggunakan pemrograman *CVAVR* menjadi pemrograman *Arduino* agar lebih mudah dipahami oleh peserta didik. Penambahan pendahuluan, glosarium, dan pengenalan robot menjadikan *jobsheet* berbentuk buku. Hasil dari desain yang telah direvisi adalah desain yang akan direalisasikan menjadi produk.



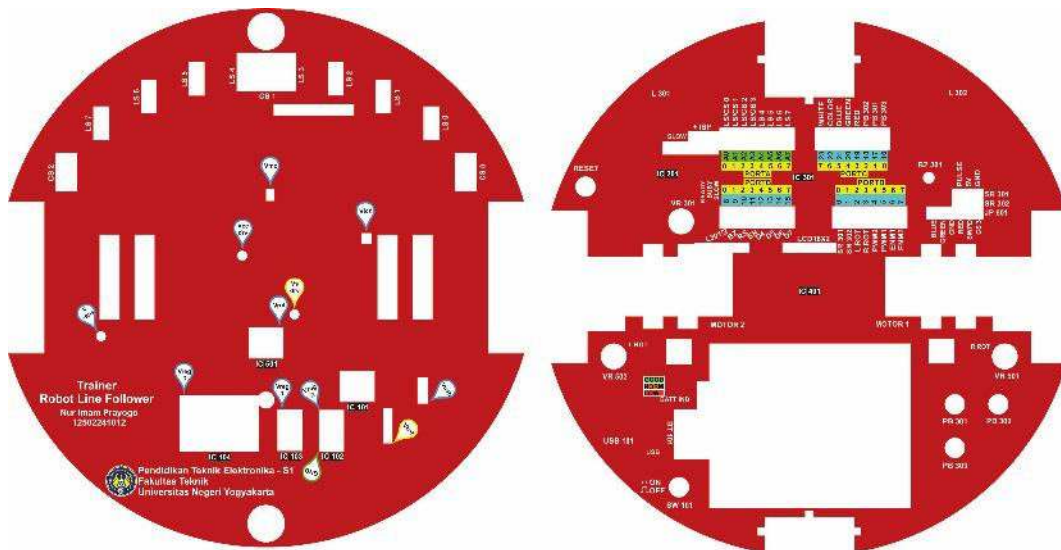
Gambar 27. Hasil Revisi Desain Elektronik Rangkaian Robot *Line Follower*



Gambar 28. Hasil Revisi Desain Mekanik Pencapit



Gambar 29. Tambah Desain Penutup Robot



Gambar 30. Tambah Desain Keterangan pada Penutup Robot

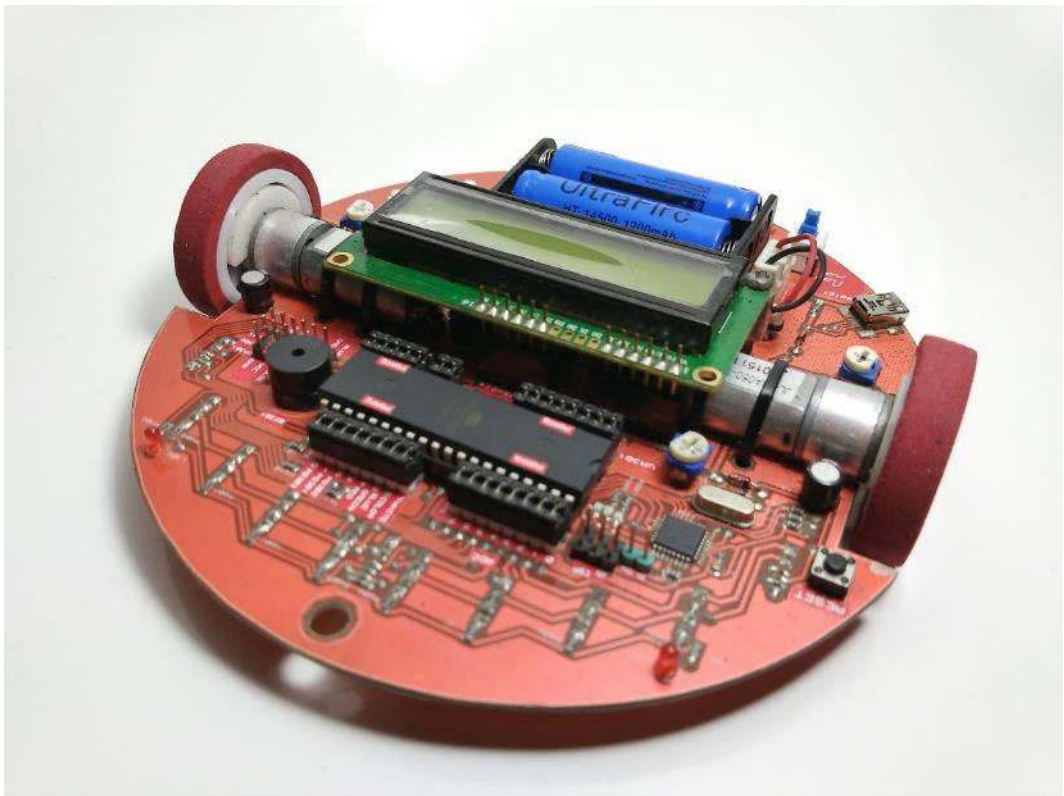
6. Uji Coba Produk

Setelah dilakukan proses validasi dan revisi desain, produk dibuat dan diuji coba. Pembuatan produk dimulai dari pembuatan PCB elektronik robot, mekanik pencapit robot, dan *jobsheet*.

a. Pembuatan Produk

1) PCB Elektronik Robot

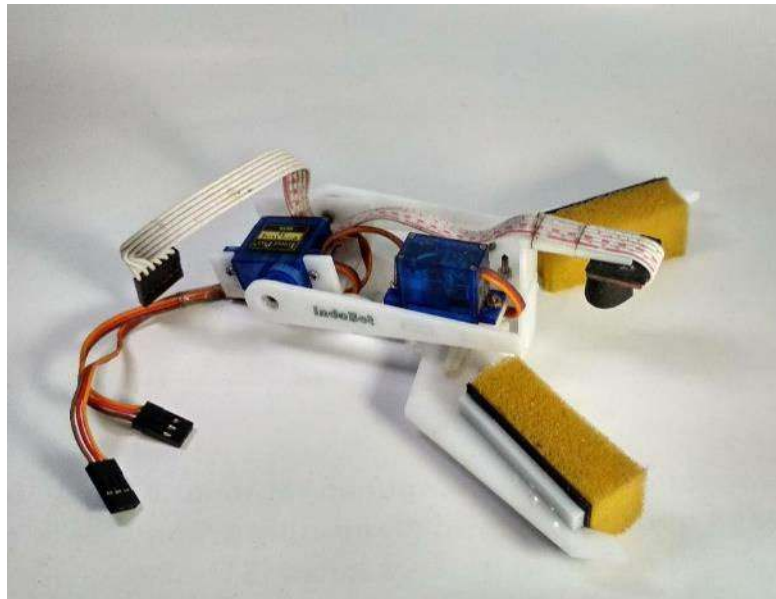
Pembuatan elektronik dimulai dari pemilihan komponen yang mudah dicari dan ukuran yang sesuai dapat digunakan. Setelah itu, pembuatan skema rangkaian menggunakan *software Eagle 6.5.0* agar terlihat lebih sederhana. Pembuatan desain PCB elektronik menggunakan *software Ares Proteus 7.10* dimulai dari pengukuran besar komponen, desain komponen, penataan komponen, dan penyambungan jalur. Tahap pencetakan PCB dilakukan di percetakan PCB karena keterbatasan alat yang ada. Tahap selanjutnya adalah pemasangan komponen elektronik pada PCB. Tahap terakhir, pengecekan kerja alat. Hasil dari realisasi elektronik robot seperti gambar 31.



Gambar 31. *Trainer Robot Line Follower*

2) Mekanik Pencapit Robot

Setelah tahap desain dan revisi desain pencapit robot, pencapit robot yang didesain menggunakan *software CorelDraw x4* dicetak pada *acrylic* dan dipotong di tempat pemotongan menggunakan *laser cutting*. Kemudian, hasil dari pemotongan dirakit bersama motor servo dan sensor warna. Hasil realisasi pencapit robot dapat dilihat pada gambar 32.



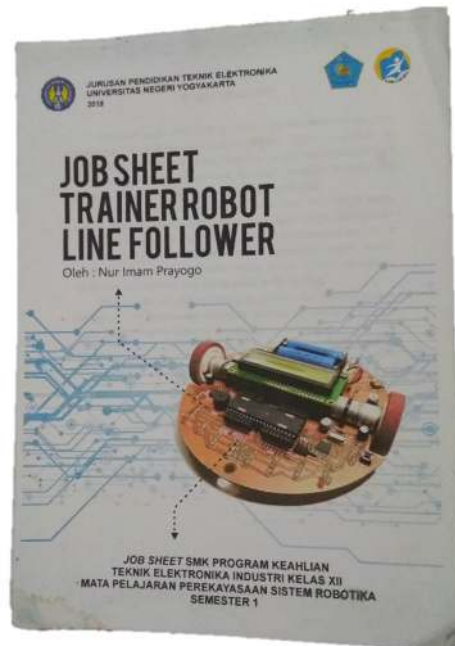
Gambar 32. Mekanik Pencapit Robot *Line Follower*

3) *Jobsheet*

Jobsheet media pembelajaran robot *line follower* berisi pedoman bagi siswa untuk praktikum dengan menggunakan media pembelajaran robot *line follower*. Pendahuluan *jobsheet* media pembelajaran robot *line follower* berisi (a) glosarium, (b) deskripsi, (c) persyaratan, (d) petunjuk, (c) tujuan akhir, dan (f) rencana pembelajaran. Selanjutnya, *jobsheet* berisi (a) tujuan, (b) dasar teori, (c) gambar rangkaian, (d) alat dan bahan, (e) keselamatan kerja, (f) langkah kerja, dan (g) tugas.

Hasil jadi *jobsheet* (dapat dilihat pada gambar 33) mencakup empat pokok pembahasan dengan sembilan kegiatan belajar sebagai berikut.

- 1) Pengenalan dan Fungsi Bagian Robot
 - a) Pengenalan *Trainer Robot Line Follower*
 - b) Pengoperasian *Trainer Robot Line Follower*
- 2) Sistem Sensor Robot
 - a) Pemrograman *Input Output*
 - b) Pemrograman ADC dan LCD 16x2
 - c) Pemrograman Sensor Warna dan EEPROM
- 3) Sistem Penggerak Robot
 - a) Pemrograman Kendali Motor dan PWM
 - b) Pemrograman Motor *Servo* dan *Rotary Encoder*
- 4) Sistem Kontrol Robot
 - a) Pemrograman Robot *Line Follower*
 - b) PID dan Pemrograman Robot *Line Follower* Pemindah Barang



Gambar 33. *Jobsheet Line Follower*

b. Pengujian Tahap Pertama

Pengujian *trainer* robot *line follower* dilakukan dengan pengujian setiap tahap. Pengujian ini meliputi tegangan catu daya dan *regulator*, *downloader*, tombol, LED, *buzzer*, LCD 16x2, sensor garis, sensor warna, *rotary encoder*, motor DC, dan servo.

1) Pengujian Tegangan Catu Daya dan *Regulator*

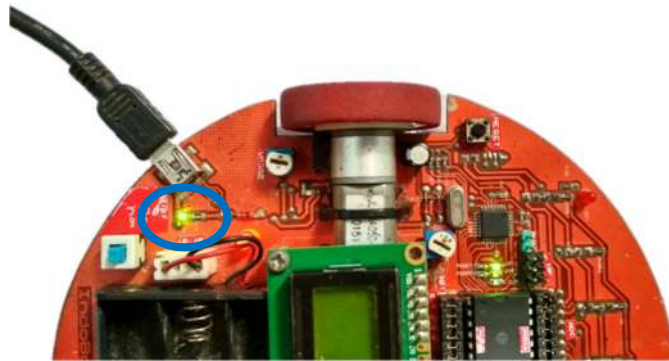
Pengujian catu daya dan *regulator* ini dilakukan dengan mengukur tegangan baterai dan tegangan hasil dari rangkaian *regulator* menggunakan IC LM7805 dan MP1584 yang diatur pada *output* 5V. Tegangan baterai digunakan untuk menyuplai rangkaian *driver* motor dan seluruh rangkaian yang harus melalui rangkaian *regulator* terlebih dahulu.

Tabel 11. Hasil Pengukuran Tegangan Catu Daya dan *Regulator*

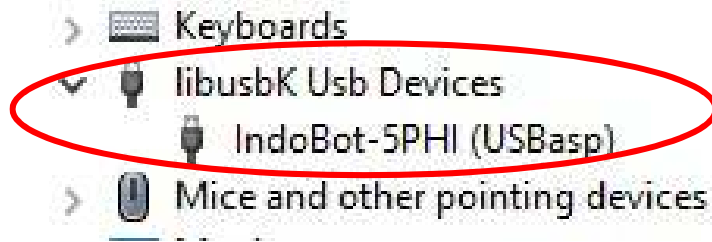
No.	Pengukuran	Vin Catu Daya	Warna Indikator	Vout <i>Regulator</i>		
				LM 7805		MP 1584
				1	2	
1.	Tanpa Beban	12,1 V	Hijau	4,90 V	4,95 V	5,17 V
		11,6 V	Jingga	4,90 V	4,95 V	5,17 V
		10,7 V	Merah	4,88 V	4,93 V	5,15 V
2.	Dengan Beban	12,1 V	Hijau	4,90 V	4,95 V	5,17 V
		11,6 V	Jingga	4,90 V	4,95 V	5,17 V
		10,7 V	Merah	4,88 V	4,93 V	5,15 V

2) Pengujian *downloader*

Pengujian *downloader* dilakukan dengan menghubungkan robot dan PC menggunakan kabel USB *type mini B*. Saat robot terhubung dengan PC atau komputer, LED indikator USB pada robot akan menyala seperti ditunjukkan pada gambar 34. Setelah robot dihubungkan dengan komputer, komputer juga akan merespons yang dapat dilihat dari jendela *device manager* komputer seperti gambar 35.



Gambar 34. Robot Dihubungkan dengan PC Menggunakan Kabel USB


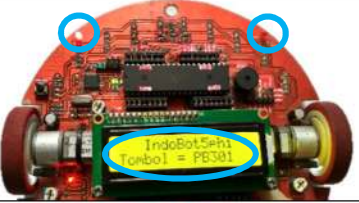
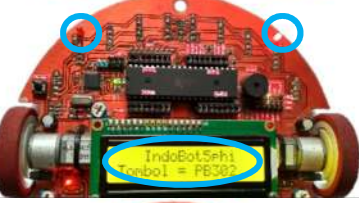



Gambar 35. Robot Terdeteksi pada PC

3) Pengujian tombol, LED, *buzzer* dan LCD

Sebelum pengujian ini dilakukan, peneliti membuat program pengecekan yang akan dimasukkan ke mikrokontroler robot. Pengujian ini dilakukan dengan melihat hasil dari program yang dimasukkan ke dalam robot. Pengujian kinerja tombol, LED, *buzzer*, dan LCD dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Pengujian Tombol, LED, *Buzzer*, dan LCD

No.	Kondisi Tombol	Respons Robot	Gambar
1	Tombol terbuka	LED menyala semua, <i>buzzer</i> tidak menyala, dan LCD tidak tertulis tombol yang tertekan	
2	Tombol PB301 ditekan	LED kiri menyala, <i>buzzer</i> tidak menyala, dan LCD tertulis tombol PB301	
3	Tombol PB302 ditekan	LED kanan menyala, <i>buzzer</i> tidak menyala, dan LCD tertulis tombol PB302	
4	Tombol PB303 ditekan	LED kanan kiri menyala, <i>buzzer</i> menyala, dan LCD tertulis tombol PB303	

4) Pengujian Sensor Garis

Sensor garis menggunakan prinsip pemantulan cahaya yang mengenai garis bidang. Sensor garis memberikan sebuah data analog yang diolah menjadi nilai melalui proses ADC (*Analog to Digital Converter*). Nilai yang bervariasi dari *output* ADC 8bit (0-255) menghasilkan warna terbaca dari garis dengan level kekuatan garis. Tabel 13 menunjukkan nilai ADC ketika robot sudah siap beroperasi terhadap garis.

Tabel 13. Hasil Pengujian Nilai ADC Sensor Garis

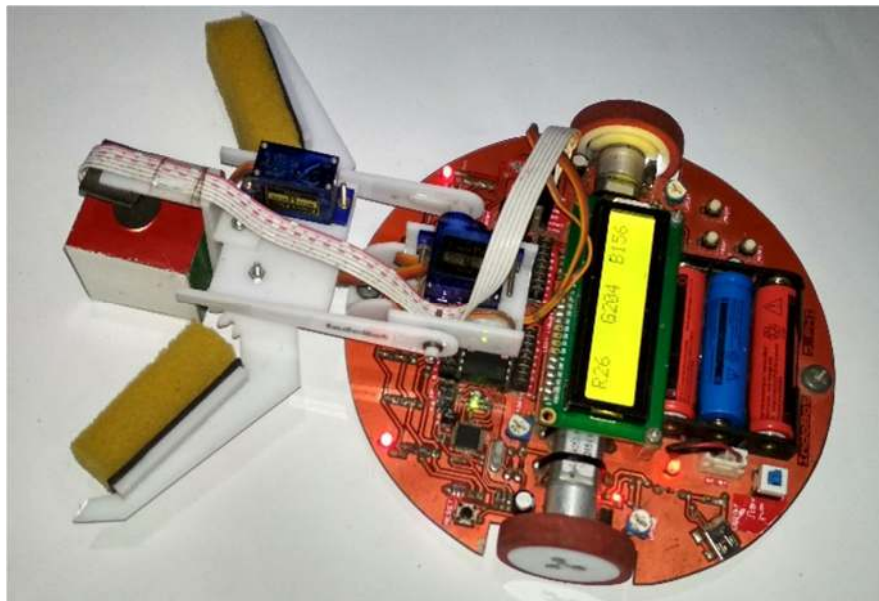
No	Nilai ADC	Garis terbaca	Level indikator sensor
1	17	Putih	0
2	108	Putih	0
3	116	Hitam	1
4	126	Hitam	2
5	140	Hitam	3
6	155	Hitam	4
7	164	Hitam	5
8	178	Hitam	6
9	193	Hitam	7
10	210	Hitam	8

5) Pengujian Sensor Warna

Pengujian sensor warna dengan membaca nilai ADC sensor warna saat diberikan sebuah box berwarna. Terdapat tiga nilai ADC saat sensor membaca warna, yaitu ADC R, ADC G, dan ADC B. Pengujian dilakukan dengan meletakkan *box* berwarna di bawah sensor warna seperti gambar 36. Tabel 14 menunjukkan hasil pengujian nilai ADC sensor warna terhadap kotak warna yang telah disediakan.

Tabel 14. Hasil Pengujian Nilai ADC Sensor Warna

	Percobaan	Warna Barang (<i>Box</i>)					
		Merah	Hijau	Ungu	Kuning	Hitam	Putih
ADC R	1	43	164	158	16	181	15
	2	50	170	148	15	161	15
ADC G	1	186	144	186	71	189	49
	2	186	151	177	60	181	36
ADC B	1	161	142	103	136	148	14
	2	188	144	114	134	185	14



Gambar 36. Pengujian Sensor Warna

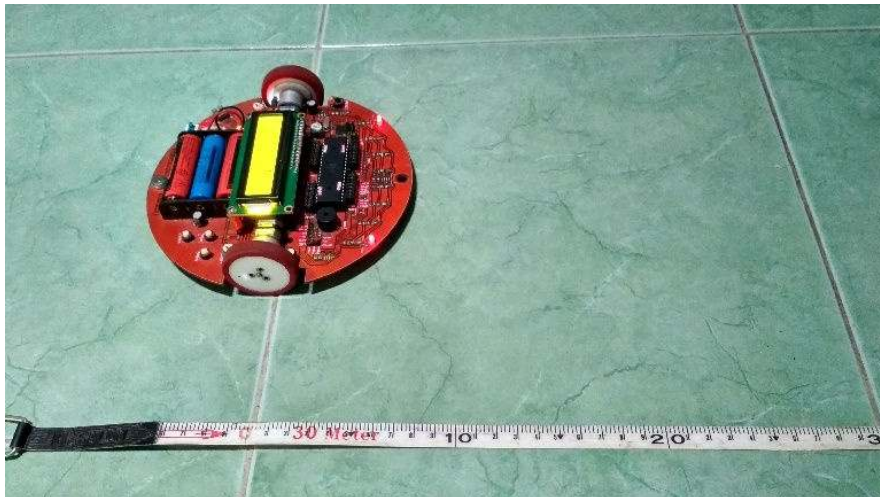
6) Pengujian *Rotary Encoder*

Pengujian ini dilakukan dengan menjalankan robot dengan mengaktifkan fitur *rotary encoder*. Jika jumlah ketukan roda diatur sebanyak 50 ketukan, maka didapatkan jarak perhitungan 76 cm. Pengujian dengan *rotary encoder* didapatkan jarak 76 cm hingga 77 cm dengan *error* terbesar 2%, yaitu 1 cm dari 76 cm. Terdapat pergeseran posisi *start* dan *stop* sebesar 1 cm hingga 7 cm. Tabel 15 menunjukkan pengujian ketepatan pembacaan sensor *rotary encoder* dengan menjalankan robot dan menghitung putaran roda dengan kecepatan yang

berbeda. Gambar 37 menunjukkan posisi awal robot dan gambar 38 menunjukkan posisi akhir robot pada salah satu percobaan dari tabel 15.

Tabel 15. Hasil Pengukuran Ketepatan Sensor *Rotary Encoder*

Kecepatan (PWM)	Percobaan	Jarak (cm)	Pergeseran Posisi <i>Start/Stop</i> (cm)
100	1	76	1
	2	76,5	2
170	1	77	7
	2	76	6
250	1	76	4
	2	76	2



Gambar 37. Pengujian *Rotary Encoder* Posisi *Start*


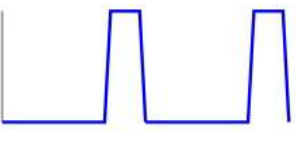
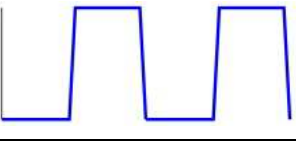
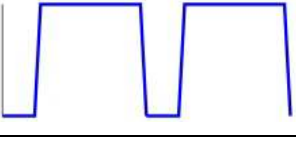
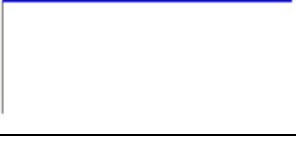


Gambar 38. Pengujian *Rotary Encoder* Posisi *Stop*

7) Pengujian Motor DC

Pengujian motor DC dengan melihat bentuk gelombang yang terbentuk oleh *output* PWM (*Pulse-Width Modulation*) yang diatur. Pengaturan PWM tersebut akan memengaruhi kecepatan putaran motor DC dan bentuk gelombang yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Pembacaan bentuk gelombang dilakukan dengan menggunakan alat, yaitu *oscilloscope*. Tabel 16 menunjukkan hasil pembacaan bentuk gelombang PWM dan tabel 17 menunjukkan perubahan kecepatan gerak motor terhadap PWM.

Tabel 16. Pengujian Bentuk Gelombang PWM

No	PWM	Bentuk Gelombang
1	0	
2	63	
3	127	
4	191	
5	255	





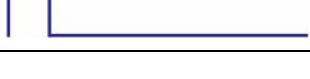
Tabel 17. Pengujian Gerak Motor DC

<i>ENABLE</i>	PWM	Motor DC
<i>LOW</i>	0	Stop
	127	Maju pelan
	255	Maju cepat
<i>HIGH</i>	0	Mundur cepat
	127	Mundur pelan
	255	Stop

8) Pengujian Servo

Pengujian servo dilakukan dengan melihat lebar pulsa yang diberikan ke servo dari sudut 0° s.d. 180° . Servo menggunakan dua servo dengan spesifikasi yang sama. Pengamatan bentuk sinyal yang diberikan pada servo menggunakan alat, yaitu *oscilloscope*. Tabel 18 merupakan hasil pengujian sudut servo beserta bentuk gelombang dan lebar pulsa. Tabel 19 merupakan hasil pengujian posisi servo 1 dan servo 2 pada *gripper* dengan sudut yang berbeda.

Tabel 18. Pengujian Sudut dan Lebar Pulsa Servo

No.	Sudut ($^{\circ}$)	Bentuk Sinyal	Lebar Pulsa TH (uS)	Lebar Pulsa TL (uS)
1	0		600	18400
2	45		1100	17900
3	90		1600	17400
4	135		2100	16900
5	180		2600	16400

Tabel 19. Pengujian Sudut Servo dan Gerak *Gripper*

No.	Servo	Sudut (°)	Keterangan
1	Servo 1	33	<i>Gripper</i> turun
2		120	<i>Gripper</i> naik
3	Servo 2	35	<i>Gripper</i> menutup
4		90	<i>Gripper</i> membuka

9) Pengujian Pergerakan Robot

Pengujian pergerakan robot adalah dengan menjalankan robot *line follower* mengikuti garis yang telah dibuat. Tujuan pengujian adalah mengetahui unjuk kerja dari *trainer* robot telah sesuai rancangan atau belum. Jika robot diletakkan pada bidang putih dengan garis warna hitam, maka robot harus bisa mengikuti alur garis.

Alur garis berupa garis lurus, lengkung, siku, dan simpangan dengan tebal garis 2 cm. Ketika di garis lurus, robot akan bergerak dengan kecepatan atau PWM yang sama sehingga robot bergerak lurus. Ketika di garis lengkung, kecepatan PWM kanan dan kiri robot akan otomatis menyesuaikan dengan perubahan kondisi garis berdasarkan kondisi sensor yang dikalkulasikan dengan rumus PID kontrol. Tabel 20 menunjukkan perubahan PWM dengan kondisi sensor dan *error* garis dengan pengaturan PID dan kecepatan robot.

Dalam pengujian ini, PID berperan terhadap ketepatan robot berjalan mengikuti garis lintasan. Robot dengan PID yang kurang tepat masih dapat berjalan, namun tidak dapat mengikuti garis dengan halus, sering berkelok-kelok walaupun lintasan lurus, bahkan sampai keluar garis lintasan. Pada pengujian ini, PID telah diatur oleh peneliti agar mempermudah dalam pengamatan dan pengujian gerak robot terhadap garis lintasan.

Tabel 20. Pengujian Pergerakan Robot

Kondisi Sensor	Error	P	I	D	Speed	L	R	PWM Kiri	PWM Kanan
00000001	25	30	10	50	100	850	-650	255	-200
00000011	20	30	10	50	100	700	-500	255	-200
00000010	15	30	10	50	100	550	-350	255	-200
00000110	10	30	10	50	100	400	-200	255	-200
00000100	6	30	10	50	100	280	-80	255	-80
00001100	3	30	10	50	100	190	10	190	10
00001000	1	30	10	50	100	130	70	130	70
00011000	0	30	10	50	100	100	100	100	100
00010000	-1	30	10	50	100	70	130	70	130
00110000	-3	30	10	50	100	10	190	10	190
00100000	-6	30	10	50	100	-80	280	-80	255
01100000	-10	30	10	50	100	-200	400	-200	255
01000000	-15	30	10	50	100	-350	550	-200	255
11000000	-20	30	10	50	100	-500	700	-200	255
10000000	-25	30	10	50	100	-650	850	-200	255

c. Uji Coba Tahap Kedua

Uji coba tahap kedua yang dilakukan adalah pengujian tingkat validitas penggunaan media pembelajaran. Uji validasi isi dilakukan oleh ahli materi, sedangkan uji validasi konstuk dilakukan oleh ahli media. Ahli materi adalah seseorang yang dipilih dengan mempertimbangkan keahliannya di bidang perkerayaan sistem robotika. Ahli media adalah seseorang yang ahli dalam menilai tampilan sebuah produk. Ahli media dan ahli materi yang memvalidasi adalah guru Teknik Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih dan dosen Pendidikan Teknik Elektronika UNY.

Tahap yang dilakukan untuk mendapatkan validasi materi dan media adalah dengan mempresentasikan unjuk kerja *trainer* robot *line follower*, menunjukkan *jobsheet*, dan menunjukkan hasil uji coba tahap pertama. Selanjutnya, ahli materi dan ahli media mengisi angket penilaian tingkat kelayakan media pembelajaran. Jika diperlukan, maka ahli materi dan ahli media dapat

menambahkan saran dan kritik untuk melakukan perbaikan produk media pembelajaran.

1) Hasil Uji Validasi Isi (Materi)

Hasil uji validasi isi adalah hasil penilaian materi pembelajaran yang terkandung dalam media pembelajaran yang dilakukan oleh ahli materi. Penilaian aspek materi ditinjau dari 18 butir dengan empat rentang tingkatan, yaitu Sangat Tidak Setuju (STS) dengan nilai 1, Tidak Setuju (TS) dengan nilai 2, Setuju (S) dengan nilai 3, dan Sangat Setuju (SS) dengan nilai 4. Tabel 21 adalah data hasil penilaian para ahli. Data yang diperoleh dari para ahli setelah uji validasi isi dihitung untuk mencari tingkat kelayakan media pembelajaran. Perhitungan tingkat kelayakan menggunakan rumus sebagai berikut.

a) Rumus Skor Rata-rata

Berikut adalah rumus untuk menghitung nilai rata-rata dari jumlah skor beberapa ahli materi.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

b) Rumus Persentase Kelayakan

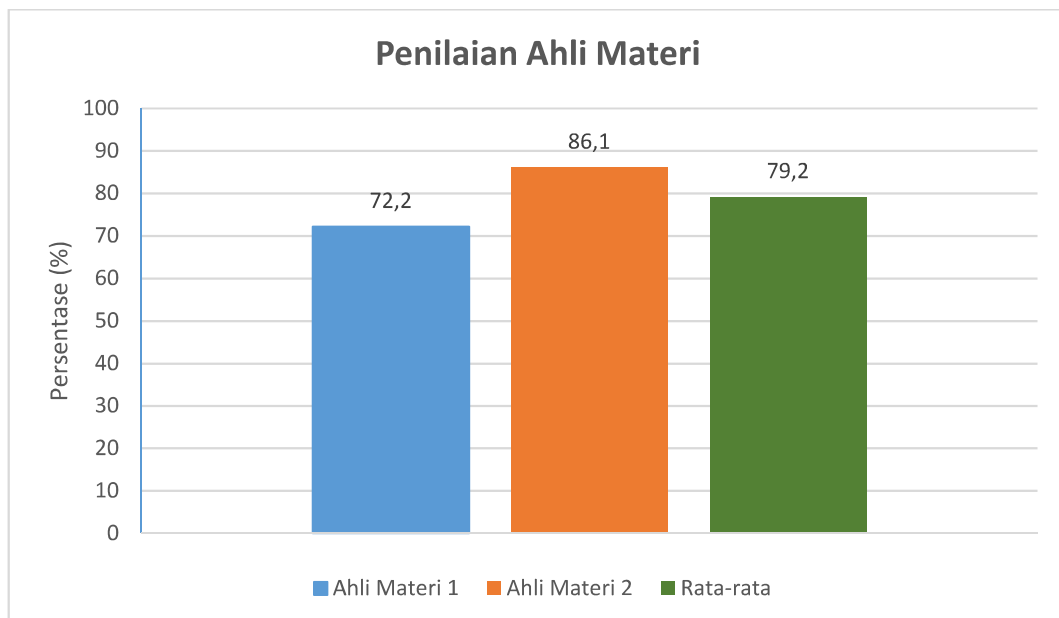
Berikut adalah rumus untuk mengonversi skor rata-rata menjadi nilai kelayakan berupa persentase.

$$Kelayakan = \frac{\text{Skor kenyataan}}{\text{Skor diharapkan}} \times 100\%$$

Persentase kelayakan yang telah diperoleh selanjutnya ditafsirkan berdasarkan skala pengukuran *rating scale*. Penafsiran kelayakan produk didapatkan dengan menggunakan *rating scale* yang ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 21. Data Uji Validasi Isi (Materi)

Aspek Penilaian	Nomor Butir	Skor Maksimal	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rata-rata Skor
Materi	1	4	4	4	4
	2	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
	4	4	4	4	4
	5	4	3	3	3
	6	4	2	4	3
	7	4	1	3	2
	8	4	3	4	3,5
	9	4	3	4	3,5
	10	4	3	3	3
	11	4	4	3	3,5
	12	4	3	3	3
	13	4	3	3	3
	14	4	1	3	2
	15	4	1	4	2,5
	16	4	3	3	3
	17	4	3	3	3
	18	4	3	3	3
Jumlah		72	52	62	57
Persentase			72,2%	86,1%	79,2%



Gambar 39. Grafik Penilaian Ahli Materi

2) Hasil Uji Validasi Konstruk (Media)

Hasil uji validasi konstruk adalah hasil penilaian media pembelajaran yang dilakukan oleh para ahli media. Aspek estetika dan aspek teknis ditinjau dari 25 butir dengan 4 rentang tingkatan, yaitu Sangat Tidak Setuju (STS) dengan nilai 1, Tidak Setuju (TS) dengan nilai 2, Setuju (S) dengan nilai 3, dan Sangat Setuju (SS) dengan nilai 4. Tabel 22 adalah data hasil penilaian para ahli. Data dari para ahli yang telah diperoleh setelah diuji validasi konstruk dihitung untuk mencari tingkat kelayakan media pembelajaran. Perhitungan tingkat kelayakan menggunakan rumus sebagai berikut.

c) Rumus Skor Rata-rata

Berikut adalah rumus untuk menghitung nilai rata-rata dari jumlah skor beberapa ahli materi.

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n}$$

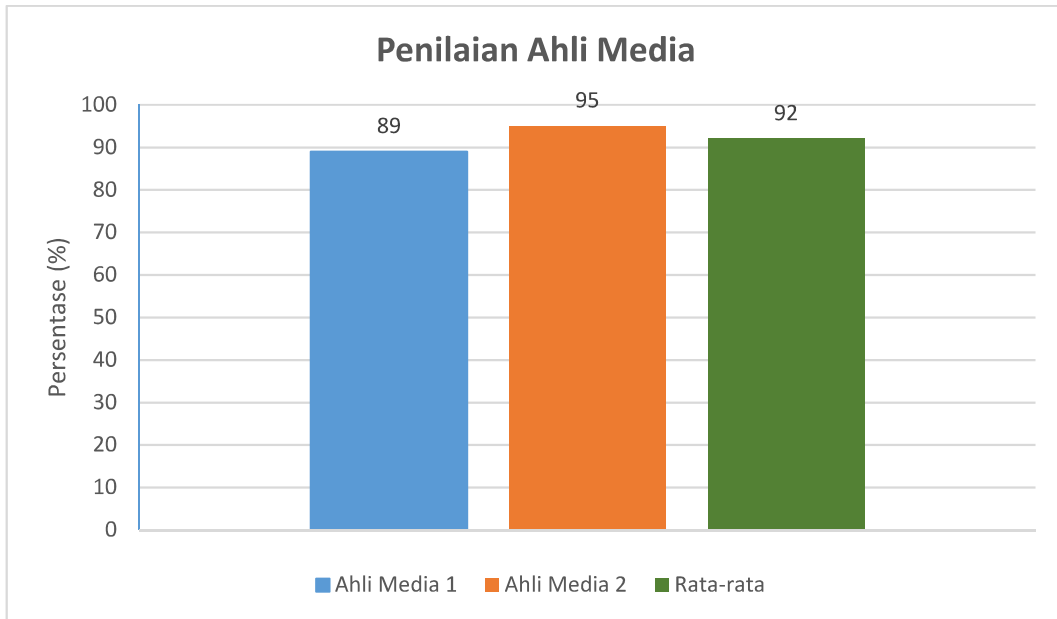
d) Rumus Persentase Kelayakan

Berikut adalah rumus untuk mengonversi skor rata-rata menjadi nilai kelayakan berupa persentase.

$$Kelayakan = \frac{\text{Skor kenyataan}}{\text{Skor diharapkan}} \times 100\%$$

Tabel 22. Data Uji Validasi Konstruk (Media)

Aspek Penilaian	Nomor Butir	Skor Maksimal	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rata – rata Skor
Teknis	1	4	4	4	4
	2	4	4	4	4
	3	4	3	3	3
	4	4	3	4	3,5
	5	4	3	4	3,5
	6	4	4	4	4
	7	4	4	4	4
	8	4	4	4	4
	9	4	3	3	3
	10	4	3	3	3,5
	11	4	3	3	3,5
	12	4	3	3	3
	13	4	3	3	3
Jumlah		52	44	48	46
Aspek Penilaian	Nomor Butir	Skor Maksimal	Skor Ahli 1	Skor Ahli 2	Rata – rata Skor
Estetika	14	4	4	4	4
	15	4	4	4	4
	16	4	4	4	4
	17	4	3	4	3,5
	18	4	3	4	3,5
	19	4	3	4	3,5
	20	4	4	4	4
	21	4	4	4	4
	22	4	4	4	4
	23	4	4	3	3,5
	24	4	4	4	4
25	4	4	4	4	
Jumlah		48	45	47	46
Total		100	89	95	92
Persentase			89%	95%	92%



Gambar 40. Grafik Penilaian Ahli Media

7. Revisi Produk

Trainer robot line follower dan *jobsheet* berdasarkan hasil validasi oleh para ahli media dan ahli materi dinyatakan terdapat revisi. Tabel 23 menunjukkan bagian yang disarankan untuk direvisi oleh para ahli.

Tabel 23. Detail Revisi

No.	Bagian yang Direvisi	Keterangan
1.		<p>Revisi pada <i>Trainer</i>:</p> <p>“Ukuran <i>trainer</i> diperbesar lagi”.</p> <p>Setelah mempertimbangkan ukuran dan kinerja robot, diputuskan bahwa dengan ukuran yang saat ini sudah ideal.</p>

2.	<p>Gambar 3.6.3 <i>Flowchart</i> program</p> <p>7) Hubungkan robot dengan PC/laptop menggunakan kabel USB mini-B.</p>	<p>Revisi pada <i>Jobsheet</i>:</p> <p>“Perbaiki penggunaan kata”;</p> <p>“Ditambahkan teori agar siswa dapat membuktikan teori”;</p> <p>“Ditambahkan <i>flowchart</i> atau algoritme program”;</p>
----	---	--

8. Uji Coba Pemakaian

Siswa kelas XII kompetensi keahlian Teknik Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih ditunjuk untuk melakukan uji pemakaian media pembelajaran. Pengujian butir instrumen dilakukan untuk menilai *trainer* robot *line follower* dan *jobsheet* secara keseluruhan sebelum digunakan untuk uji pemakaian oleh siswa.

a. Uji Validitas Butir Instrumen

Angket instrumen, yang telah divalidasi, diuji validitas setiap butir instrumennya oleh siswa. Aspek kualitas isi, kualitas estetika, dan kualitas teknis adalah tiga aspek instrumen penelitian yang disesuaikan dengan kondisi siswa. Aspek tersebut diambil dari angket instrumen ahli materi dan ahli media. Tabel 24 merupakan hasil uji validitas instrumen untuk butir ke 1.

Tabel 24.Data Hasil Uji Validitas untuk Butir ke 1

Responden	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	3	69	207	9	4761
2	4	73	292	16	5329
3	4	70	280	16	4900
4	4	72	288	16	5184
5	3	74	222	9	5476
6	4	68	272	16	4624
7	4	74	296	16	5476
8	4	72	288	16	5184
9	3	71	213	9	5041
10	3	60	180	9	3600
11	4	61	244	16	3721
12	4	73	292	16	5329
13	3	66	198	9	4356
14	4	75	300	16	5625
15	4	76	304	16	5776
16	4	76	304	16	5776
17	4	70	280	16	4900
18	4	68	272	16	4624
19	3	61	183	9	3721
20	4	72	288	16	5184
21	4	72	288	16	5184
22	3	65	195	9	4225
23	4	69	276	16	4761
24	3	61	183	9	3721
25	4	80	320	16	6400
26	3	72	216	9	5184
27	3	70	210	9	4900
28	3	72	216	9	5184
29	4	75	300	16	5625
30	3	54	162	9	2916
31	3	71	213	9	5041
32	3	66	198	9	4356
Σ	114	2228	7980	414	156084

Dari Tabel 25 di atas dapat diambil nilai sebagai berikut:

$$\begin{array}{lll} \Sigma X & = 114 & \Sigma X^2 & = 414 & \Sigma XY & = 7980 \\ \Sigma Y & = 2228 & \Sigma Y^2 & = 156084 & & \end{array}$$

Untuk mengetahui kevalidan setiap butir instrumen, digunakan rumus korelasi antara skor butir (X) dan skor total (Y) seperti perhitungan berikut.

$$r_{xy} = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{n \sum X^2 - (\sum X)^2\}\{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}}$$

$$r_{xy} = \frac{32 \times 7980 - 114 \times 2228}{\sqrt{\{32 \times 414 - (114)^2\}\{32 \times 156084 - (2228)^2\}}} = 0,492$$

Butir instrumen dianggap valid jika r_{hitung} lebih besar dari sama dengan r_{tabel} adalah kriteria yang digunakan untuk uji kevalidan butir instrumen. Pengujian butir instrumen diambil dari 32 siswa. Taraf signifikan 5% untuk r_{tabel} adalah sebesar 0,349 yang diambil dari data r_{tabel} (tabel terlampir). Berdasarkan dari contoh perhitungan di atas, butir 1 dinyatakan valid karena 0,492 ($0,492 \geq 0,349$). Tabel 25 merupakan hasil perhitungan tiap butir instrumen dengan perhitungan butir sama seperti rumus di atas.

Tabel 25. Hasil Perhitungan Uji Validitas Butir Instrumen

Butir	R Hitung	R Tabel	Keterangan	Butir	R Hitung	R Tabel	Keterangan
1	0,492	0,349	Valid	11	0,539	0,349	Valid
2	0,452	0,349	Valid	12	0,486	0,349	Valid
3	0,622	0,349	Valid	13	0,43	0,349	Valid
4	0,377	0,349	Valid	14	0,536	0,349	Valid
5	0,497	0,349	Valid	15	0,549	0,349	Valid
6	0,713	0,349	Valid	16	0,53	0,349	Valid
7	0,689	0,349	Valid	17	0,531	0,349	Valid
8	0,448	0,349	Valid	18	0,416	0,349	Valid
9	0,599	0,349	Valid	19	0,541	0,349	Valid
10	0,599	0,349	Valid	20	0,559	0,349	Valid

b. Uji Reliabilitas Instrumen

Rumus *alpha cronbach* digunakan untuk pengujian reliabilitas instrumen. Hasil dari perhitungan tersebut diperoleh nilai koefisien sebesar 0,864 (sangat

tinggi), yang menunjukkan bahwa instrumen uji coba pemakaian produk reliabel (dapat dipercaya). Perhitungan nilai reliabilitas instrumen adalah seperti berikut.

$$r_{11} = \left(\frac{k}{(k - 1)} \right) \left(1 - \frac{\sum \sigma_t^2}{\sigma_t^2} \right)$$

$$r_{11} = \left(\frac{20}{(20 - 1)} \right) \left(1 - \frac{5,339}{29,79} \right) = 0,864$$

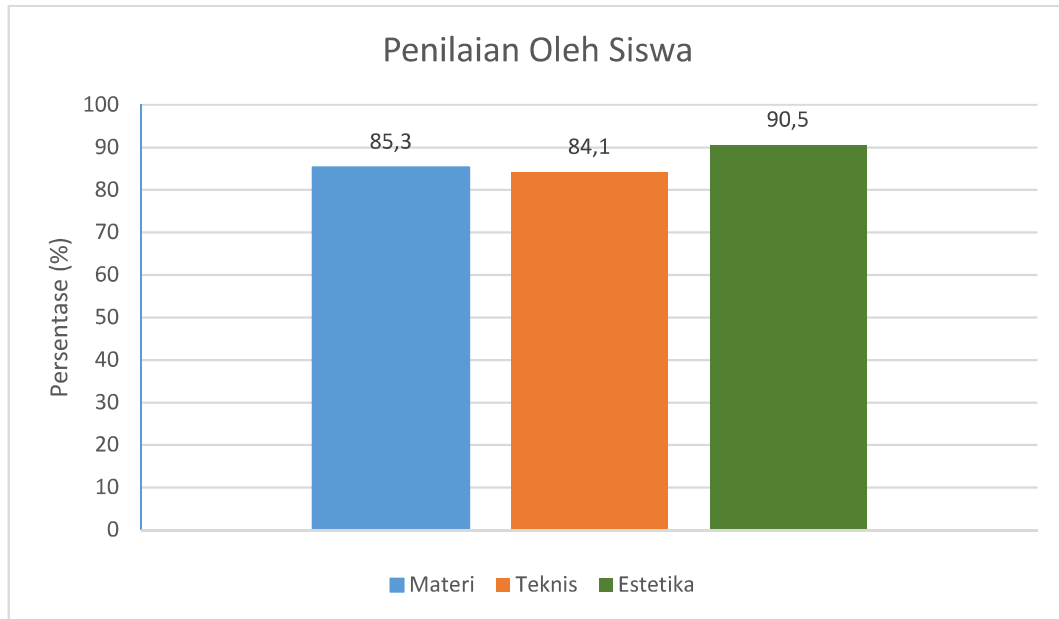
Data lengkap uji reliabilitas instrumen dapat dilihat pada lampiran 18.

c. Hasil Uji Pemakaian

Kegiatan uji pemakaian dilakukan oleh siswa dengan mempraktikkan *trainer robot line follower*. Uji pemakaian dilakukan oleh siswa kelas XII Teknik Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih. Instrumen, yang telah lolos diuji validitas dan reliabilitasnya, digunakan untuk pengambilan data uji pemakaian oleh siswa. Tabel 26 merupakan hasil uji pemakaian oleh siswa.

Tabel 26. Hasil Uji Pemakaian *Trainer Robot*

Aspek	Butir	Jumlah Skor	Persentase (%)
Materi	1	114	89,1
	2	109	85,2
	3	111	86,7
	4	106	82,8
	5	106	82,8
	6	109	85,2
	Rata-rata		85,3
Teknis	7	113	88,3
	8	105	82,0
	9	100	78,1
	10	102	79,7
	11	116	90,6
	12	110	85,9
	Rata-rata		84,1
Estetika	13	121	94,5
	14	115	89,8
	15	114	89,1
	16	113	88,3
	17	112	87,5
	18	113	88,3
	19	119	93,0
	20	120	93,8
	Rata-rata		90,5



Gambar 41. Grafik Penilaian oleh Siswa

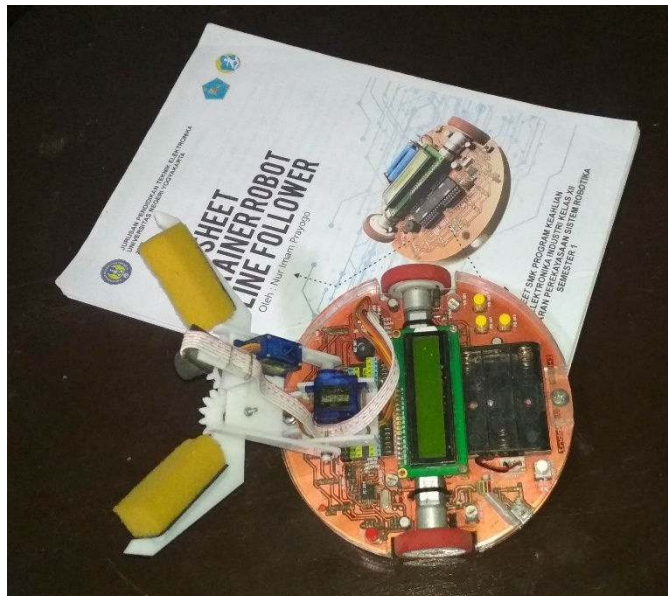
B. Pembahasan

Tujuan pembahasan adalah untuk membahas hasil yang telah diperoleh selama penelitian di Kelas XII Teknik Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih dan menjawab tujuan penelitian tersebut.

1. Merancang bangun media pembelajaran Robot *Line Follower* pada mata pelajaran Perekayasaan Sistem Robotika Program Keahlian Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih.

Setelah dilakukan pengamatan dan observasi, ditemukan adanya potensi dan masalah. Potensi yang ada adalah siswa tertarik dengan pembelajaran perekayasaan sistem robotika dan mampu mengikuti pembelajaran dengan baik. Masalah yang menghambat siswa adalah kurang maksimalnya media pembelajaran yang ada sehingga perlu adanya pengembangan untuk mendukung potensi siswa.

Setelah menganalisis potensi dan mengaitkan dengan kompetensi dasar, dalam penelitian ini, media pembelajaran dibuat beberapa blok percobaan, yaitu sistem minimum mikrokontroler ATmega32, LED, *buzzer*, LCD, motor DC, motor servo, sensor garis, sensor warna, *rotary encoder*, dan *push button* yang secara keseluruhan digabung dalam bentuk robot *line follower*. *Trainer* ini disertai *jobsheet* sebagai panduan praktikum. Pembuatan *trainer* sudah dipresentasikan dan disetujui oleh dosen dan guru pengampu. Realisasi *trainer* robot *line follower* lengkap dengan *jobsheet* dilakukan setelah proses desain, validasi desain, dan revisi desain. Tahap perealisasi produk tampak seperti pada gambar 42.



Gambar 42. *Trainer* Robot beserta *Jobsheet*

2. Mengetahui unjuk kerja media pembelajaran Robot *Line Follower* pada mata pelajaran Perekayasa Sistem Robotika Program Keahlian Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih.

Unjuk kerja *trainer* robot *line follower* diuji oleh peneliti langsung dengan memperhatikan *jobsheet* yang dibuat. Pengujian tersebut ditujukan agar peneliti

mengetahui kinerja dari masing-masing komponen dan rangkaian robot *line follower*. Pengujian dimulai dari rangkaian *power supply*, sensor, hingga pengoperasian jalan robot.

Setelah dilakukan pengujian oleh peneliti, didapatkan hasil pengujian yang telah dicantumkan pada tabel 11 sampai dengan tabel 20. Pengujian rangkaian catu daya dan *regulator* berjalan dengan baik. Tegangan keluaran relatif stabil saat indikator baterai menyala hijau dan jingga, sedangkan saat menyala merah tegangan keluaran mulai ada penurunan. Pada pengujian *downloader*, *downloader* dapat berfungsi dengan baik, dapat dideteksi oleh komputer, dan dapat mengirimkan program ke robot.

Pengujian *input* dan *output* pada robot *line follower* bekerja dengan baik. LED, *buzzer*, serta LCD dapat menyala dan menampilkan tulisan seperti pada tabel 12. Sensor garis dapat membedakan garis hitam dan putih pada lintasan serta dapat membaca tingkat kekuatan garis yang dibaca seperti tabel 13. Sensor garis memiliki kelemahan saat melintasi bidang lintasan tidak rata. Sensor warna dengan menggunakan photodiode dan LED RGB mampu membedakan enam warna kubus yang telah disediakan oleh peneliti seperti pada tabel 14. Terdapat kendala pada sensor warna, yaitu perlunya proses pengenalan warna terlebih dahulu agar sensor dapat membedakan warna dengan tepat.

Sensor *rotary encoder* yang diuji oleh peneliti tidak terlalu akurat, jika digunakan untuk mempertahankan arah robot. Dari beberapa percobaan yang dilakukan oleh peneliti, jarak tempuh robot dapat dipertahankan dengan baik, tetapi ada pergeseran saat posisi *start* dan *stop* saat diberikan garis lurus, seperti yang tampak pada tabel 15. Motor DC dan motor servo pada robot dapat bekerja

baik dengan mampunya robot berjalan dan menggerakkan pencapit seperti pada tabel 17 dan tabel 19.

3. Mengetahui kelayakan media pembelajaran Robot *Line Follower* pada mata pelajaran Perekayasa Sistem Robotika Program Keahlian Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih.

Pengujian kelayakan dilakukan oleh dua ahli media, dua ahli materi, dan 32 siswa. Data pengujian oleh ahli materi, yang tercantum pada tabel 21, selanjutnya dihitung untuk mengetahui tingkat kelayakan media pembelajaran. Tingkat kelayakan dari pengujian validitas isi dihitung dengan mencari rata-rata skor dari kedua ahli.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{52 + 62}{2}$$

$$\bar{x} = 57$$

Nilai rata-rata kelayakan materi yang diperoleh dari kedua ahli materi selanjutnya diubah menjadi persentase dengan rumus berikut.

$$Kelayakan = \frac{Skor\ kenyataan}{Skor\ diharapkan} \times 100\%$$

$$Kelayakan = \frac{57}{72} \times 100\%$$

$$Kelayakan = 79,2\%$$

Setelah diperoleh persentase skor kelayakan materi, skor kelayakan materi ditafsirkan berdasarkan skala pengukuran *rating scale* dengan mengacu pada tabel 9. Hasil perhitungan rata-rata skor kelayakan dari dua ahli materi adalah 79,2%.

Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa media pembelajaran *trainer robot line follower* dan *jobsheet* masuk dalam kategori sangat layak untuk digunakan.

Setelah perhitungan ahli materi, dilakukan perhitungan ahli media. Hasil dari penilaian ahli media dapat dilihat pada tabel 22 yang meliputi aspek teknis dan estetika. Tingkat kelayakan produk dapat dihitung dengan mencari rata-rata skor dari kedua ahli media yang diambil dari uji validitas konstruk.

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{89 + 95}{2}$$

$$\bar{x} = 92$$

Kemudian, nilai rata-rata kelayakan yang diperoleh diubah menjadi persentase dengan rumus berikut.

$$Kelayakan = \frac{Skor\ kenyataan}{Skor\ diharapkan} \times 100\%$$

$$Kelayakan = \frac{92}{100} \times 100\%$$

$$Kelayakan = 92\%$$

Setelah diperoleh persentase skor kelayakan media, skor kelayakan media ditafsirkan berdasarkan skala pengukuran *rating scale* dengan mengacu pada tabel 9. Hasil perhitungan rata-rata skor kelayakan dari dua ahli media adalah 92%. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa media pembelajaran *trainer robot line follower* dan *jobsheet* masuk dalam kategori sangat layak untuk digunakan.

Uji tingkat kelayakan penggunaan media pembelajaran dilakukan oleh siswa kelas XII Teknik Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih. Hasil dari penilaian oleh siswa dapat dilihat pada tabel 26 yang meliputi aspek materi, teknis,

dan estetika. Tingkat kelayakan produk dapat dihitung dengan mencari rata-rata dari tiga aspek penilaian.

$$\bar{x}_{kelayakan} = \frac{\Sigma x}{n}$$

$$\bar{x}_{kelayakan} = \frac{85,3 + 84,1 + 90,5}{3}$$

$$\bar{x}_{kelayakan} = 86,6\%$$

Hasil perhitungan kelayakan *trainer* robot *line follower* dan *jobsheet* menurut pengguna atau siswa mendapat skor 86,6% atau dapat dikategorikan sangat layak untuk digunakan sebagai media pembelajaran mata pelajaran perekayasaan sistem robotika pada kompetensi keahlian Teknik Elektronika Industri SMK Negeri 2 Pengasih.