

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data Uji Coba

1. Hasil Analisis

Berdasarkan hasil dari observasi dengan beberapa mahasiswa tentang pembelajaran mata kuliah robotika di Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika dan Informatika, mendapatkan beberapa hal:

a. Validasi Kebutuhan Media Pembelajaran

Berdasarkan komentar/saran yang diberikan oleh beberapa mahasiswa yang telah mengikuti mata kuliah robotika:

- 1) Pembelajaran robotika perlu memperkenalkan teknologi dan sistem dasar yang terdapat pada sebuah robot.
- 2) *Jobsheet* dan materi pembelajaran pada mata kuliah robotika perlu diperbarui.
- 3) Diperlukan tambahan media pembelajaran yang mendukung untuk mempermudah dan memperjelas penyampaian materi pembelajaran.

b. Menentukan Tujuan Instruksional

Berdasarkan silabus mata kuliah robotika terdapat beberapa indikator pencapaian kompetensi pada aspek psikomotor nomor 3, 4 dan 6 yang digunakan sebagai acuan untuk penyusunan tujuan instruksional, yaitu:

- 1) Peserta didik mampu memahami dasar-dasar analisis *inverse kinematic*.
- 2) Peserta didik mampu menerapkan *inverse kinematic* untuk kendali servo.
- 3) Peserta didik mampu menganalisis prinsip kerja robot berkaki.

c. Penegasan Minat Peserta Didik

Tabel 1. Hasil Observasi

No.	Pernyataan	Mhs. 1	Mhs. 2	Mhs. 3	Mhs. 4	Mhs. 5
1	Robotika menarik untuk dipelajari	√	√	√	√	√
2	Pembelajaran robotika menambah wawasan dan pengetahuan baru	√	√	√	√	√

Berdasarkan pernyataan nomor 1 dan 2 pada lembar observasi dapat diketahui bahwa:

- 1) Peserta didik menganggap bahwa bidang robotika merupakan bidang yang menarik untuk dipelajari.
- 2) Peserta didik menganggap bahwa bidang robotika dapat memberikan wawasan dan pengetahuan baru.

d. Mengidentifikasi Sumber yang Dibutuhkan

Beberapa sumber yang dibutuhkan untuk mendukung pembelajaran pada mata kuliah robotika:

- 1) Jurusan sudah memiliki silabus sebagai acuan materi pembelajaran.
- 2) Jurusan sudah memiliki tenaga pengajar yang kompeten di bidang robotika.
- 3) Jurusan sudah memiliki ruangan yang memadai untuk praktek robotika.
- 4) Peserta didik sebelum mengikuti mata kuliah robotika sudah dibekali materi yang mendukung pada beberapa mata kuliah sebelumnya.

e. Menentukan Sistem Pembelajaran yang Tepat

Pembelajaran robotika tentang *inverse kinematic* menggunakan media pembelajaran berupa robot *hexapod*. Dengan demikian peserta didik akan

diberikan pengalaman langsung dalam penerapan *inverse kinematic* pada robot, sehingga peserta didik dapat melibatkan seluruh indera yang dimiliki secara langsung untuk belajar. Hal tersebut akan memberikan daya ingat yang lebih dan bermakna untuk menerima sebuah materi yang telah disampaikan dalam sebuah pembelajaran. Selain pengembangan media pembelajaran berupa robot *hexapod*, perlu didukung dengan pembuatan sebuah modul dan *jobsheet* untuk membantu instruksional dalam pembelajaran praktik.

f. Menyusun Sebuah Rencana Pengelolaan Proyek

Penelitian dilaksanakan di Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika dan Informatika FT UNY mulai dari tanggal 2 September 2019 hingga 2 Desember 2019. Berikut ini merupakan rencana pengelolaan proyek.

Tabel 2. Matrikulasi Pengelolaan Proyek

Kegiatan	September				Oktober				November				Desember			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Observasi kelas	■															
Desain produk	■	■														
Pembuatan produk		■	■	■												
Penilaian produk				■	■	■										
Pengujian produk						■	■	■	■							
Analisis data penelitian								■	■	■	■	■				
Penyusunan laporan									■	■	■	■				
Konsultasi	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Perbaikan produk	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				

2. Hasil Desain

a. Mengadakan Inventarisasi Tugas

Terdapat beberapa tugas yang diberikan kepada peserta yang termuat dalam *jobsheet*. Tugas tersebut berupa pengamatan dalam praktek dan soal untuk didiskusikan dengan anggota kelompok praktek. Pengadaan tugas tersebut bertujuan untuk mengetahui pencapaian pembelajaran.

b. Tujuan Pembelajaran

Berdasarkan tujuan instruksional yang telah disusun dapat diperinci kembali menjadi beberapa tujuan pembelajaran. Seluruh tujuan pembelajaran tersebut kemudian dijadikan sebagai tujuan yang akan dicapai di setiap prakteknya. Berikut ini merupakan rincian tujuan yang termuat dalam *jobsheet*:

- 1) Memprogram media pembelajaran menggunakan Keil uVision.
- 2) Mengendalikan servo menggunakan *software LynxTerm* dengan benar.
- 3) Mengetahui karakteristik putaran servo pada robot *hexapod* dengan benar.
- 4) Mengelola servo menggunakan SSC-32 sesuai konfigurasi.
- 5) Menganalisis pengaruh *inverse kinematic* terhadap pergerakan kaki robot *hexapod* dengan benar.
- 6) Merumuskan pengendalian kaki menggunakan analisis *inverse kinematic* dengan tepat.
- 7) Menganalisis pengaruh *inverse kinematic* tubuh terhadap pergerakan seluruh kaki robot *hexapod* dengan benar.
- 8) Merumuskan pengendalian seluruh kaki robot menggunakan analisis *inverse kinematic* dengan tepat.

- 9) Menggabungkan analisis *inverse kinematic* kaki dan tubuh robot dengan benar.
- 10) Menyusun pola langkah untuk menggerakkan robot *hexapod* dengan teratur.

c. Menghasilkan Strategi Percobaan

Percobaan dilakukan dengan menggunakan media pembelajaran dan melakukan instruksi sesuai yang tertulis pada lembar *jobsheet*, melakukan pengamatan sesuai dengan instruksi, menganalisis hasil pengamatan dan menjawab beberapa tugas yang sudah tersedia di dalam *jobsheet*.

d. Menghitung Investasi

Tabel 3. Daftar Komponen yang Dibutuhkan

Nama Komponen	Jumlah	Nama Komponen	Jumlah
Servo <i>Sequencer Controller</i> 32 (SSC)	1	STM32 Nucleo-L432KC	1
Horn Servo	18	Servo Hitec	18
UBEC 8A-15A	1	LCD Karakter 16x2	1
<i>Voltmeter DC</i>	2	Sakelar	2
<i>Regulator 5VDC</i>	1	Tombol <i>push on</i>	6
Baterai 3s 2200mAh	1	Mini USB 1m	1
<i>Socket XT60</i>	1	Extension USB 3m	1
Baterai 18650	2	Kunci L 2,5mm	1
<i>Box</i> baterai 18650	1	Kunci pas 3mm	1

3. Hasil Pengembangan

a. Menghasilkan Konten Pembelajaran

Seluruh materi yang akan dipelajari termuat dalam modul dan *jobsheet*.

Modul terdiri dari 2 bagian, yaitu:

- 1) Bagian I: Kinematika robot

Pada bagian satu, memuat teori tentang kinematik yang dapat digunakan dalam aplikasi *manipulator robot* khususnya robot *hexapod*. Kinematik merupakan salah satu teknik analisis yang tidak memperhatikan efek

inersia/kelembaman yang terjadi ketika robot melakukan gerakan. Dalam kinematika akan menjumpai tentang teori dasar tentang penggunaan transformasi koordinat, analisis kinematik menggunakan persamaan trigonometri, matrik translasi, matrik rotasi dan metode *Denavit Hartenberg* (DH).

2) Bagian II: Media Pembelajaran

Pada bagian dua memuat beberapa penjelasan tentang informasi mendasar tentang robot *hexapod* yang digunakan untuk media pembelajaran *inverse kinematic*. Informasi tersebut terdiri dari keterangan untuk setiap notasi/label yang terpasang pada bagian robot, spesifikasi robot, konstruksi kaki, rancang bangun, desain rangkaian elektronik, desain mekanik robot *hexapod* hingga *software* pendukung yang digunakan untuk pemrograman.

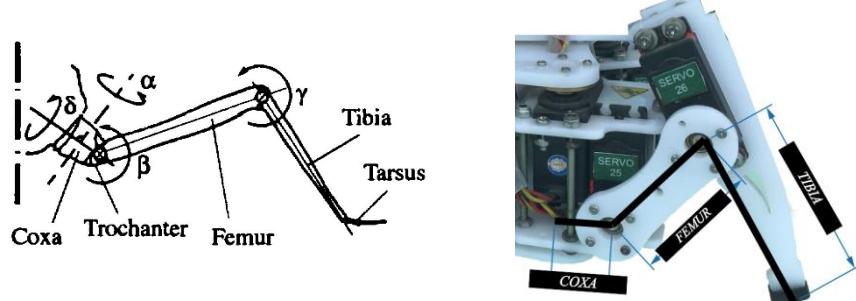
Jobsheet terdiri dari 5 *job*, yaitu:

- 1) *Job 1: Pengantar Media Pembelajaran Inverse Kinematic*
- 2) *Job 2: Servo*
- 3) *Job 3: Inverse Kinematic Satu Kaki Dengan Geometric Solution*
- 4) *Job 4: Inverse Kinematic Tubuh Dengan Geometric Solution*
- 5) *Job 5: Pergerakan Robot*

b. Memilih/Mengembangkan Media Pendukung

Penggunaan robot *hexapod* sebagai media pembelajaran *inverse kinematic* diharapkan peserta didik dapat mengaplikasikan *inverse kinematic* untuk mengendalikan pergerakan kaki robot. Selain itu peserta didik juga dapat mempelajari sistem kendali yang digunakan untuk mengendalikan pergerakan seluruh kaki robot *hexapod*. Konstruksi kaki robot diadopsi dari sebuah

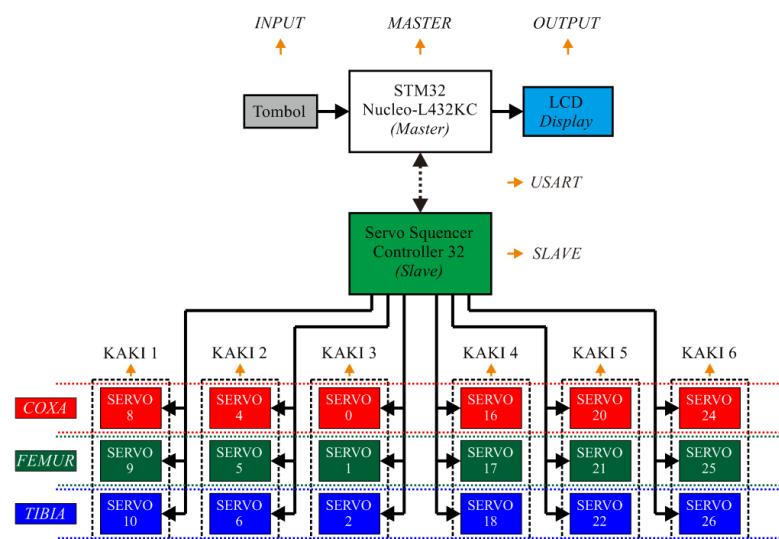
konstruksi kaki serangga yang telah disederhanakan menjadi 3 *degree of freedom* (DOF).



Gambar 1. Konstruksi Kaki Serangga
(Roennau, Kerscher, & Dillmann, 2010)

Gambar 2. Konstruksi
Kaki Robot

Konstruksi kaki model ini sering kali dijumpai pada robot berkaki, penyederhanaan konstruksi tersebut karena serangga menggunakan beberapa sendi ketika sedang memanjang. Selain itu penggunaan 3 DOF sudah memberikan pergerakan kaki robot yang lebih fleksibel. Berikut ini merupakan konstruksi robot dalam bentuk diagram:



Gambar 3. Blok Diagram Robot Hexapod

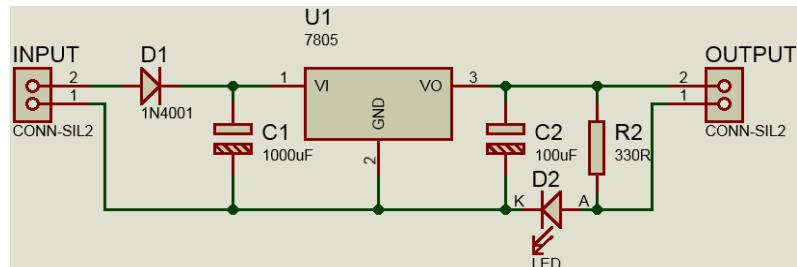
Robot *hexapod* ini tersusun dari 3 *degree of freedom* (servo) di setiap kakinya dan memiliki dua buah prosesor. Prosesor *master* pada robot ini menggunakan *board* dengan *chipset* STM32 Nucleo-L432KC dan SSC-32 dengan

chipset ATMega8 sebagai *slave*. Penggunaan *STM32* sebagai *master* agar mempercepat proses eksekusi program dan sampling data. Pertimbangan *SSC-32* sebagai *slave* karena jumlah servo yang akan di akses pada robot *hexapod* dan kemudahan aksesnya. Agar kedua prosesor dapat berkomunikasi, *rx* dan *tx* setiap prosesor tersebut dihubungan secara menyilang.

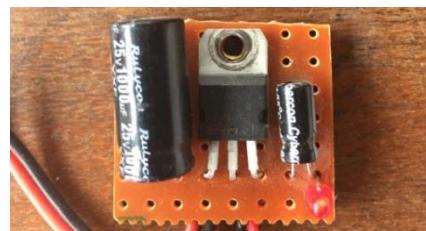
Prosesor *master* bekerja untuk mengolah data koordinat posisi robot, algoritma utama dan mengirim data ke *slave*. *Slave* bertugas menerima dan menerjemahkan data sebelum diteruskan ke servo yang terhubung pada *SSC-32*. Dalam melakukan kendali robot, manipulasi data dimungkinkan dengan menggunakan tombol pengaturan. Manipulasi data berupa nilai masukan sudut putar, koordinat *x*, *y*, *z*, dan kecepatan.

1) Pengembangan Desain Rangkaian

a) Rangkaian *Regulator 5VDC*

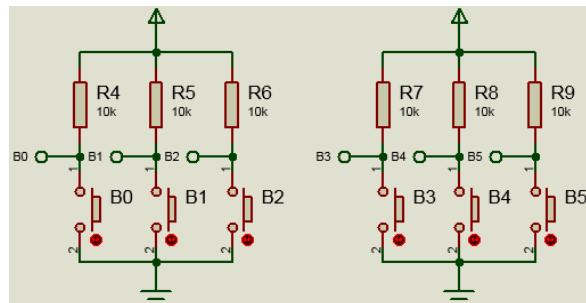


Gambar 4. Skema Rangkaian *Regulator 5VDC*



Gambar 5. Realisasi Rangkaian *Regulator 5VDC*

b) Rangkaian *Push Button*

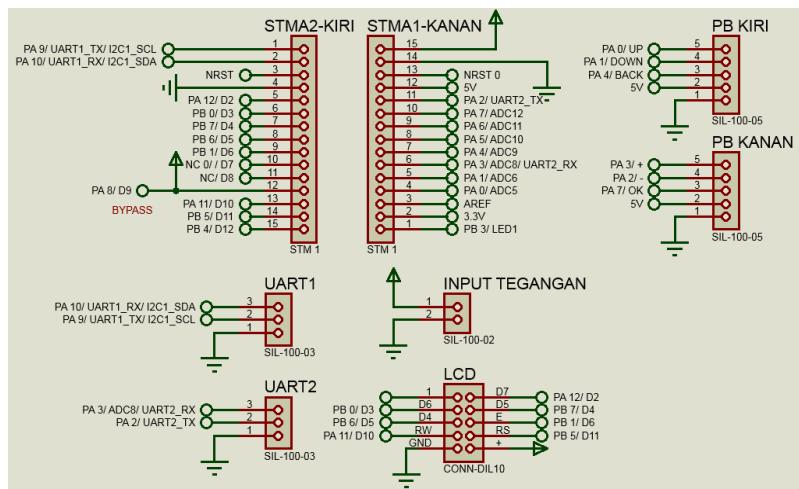


Gambar 6. Skema Rangkaian *Push Button*



Gambar 7. Realisasi Rangkaian *Push Button*

c) Rangkaian *Shield* STM32 Nucleo-L432KC

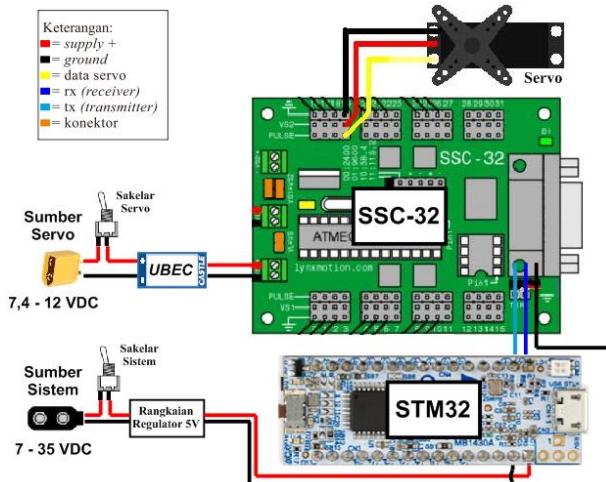


Gambar 8. Skema Rangkaian *Shield* STM32 Nucleo-L432KC



Gambar 9. Realisasi Rangkaian *Shield* STM32 Nucleo-L432KC

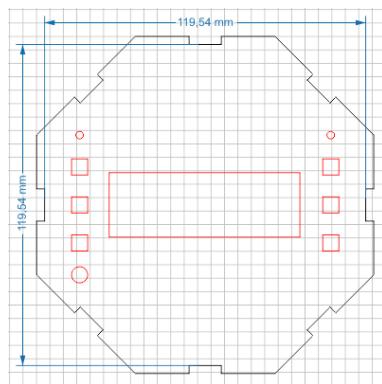
d) Instalasi Sumber Tegangan dan Komunikasi



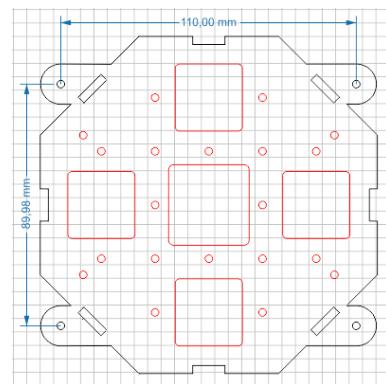
Gambar 10. Skema Instalasi Sumber Tegangan dan Komunikasi

2) Pengembangan Desain Mekanik

a) *Box Sistem*

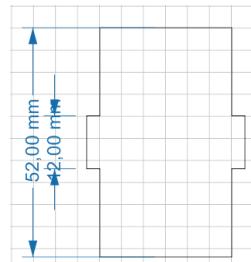


Gambar 11. Desain Bagian Atas Box Sistem

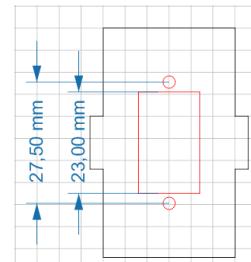


Gambar 12. Desain Bagian Bawah Box Sistem

b) Bagian Samping Box Sistem

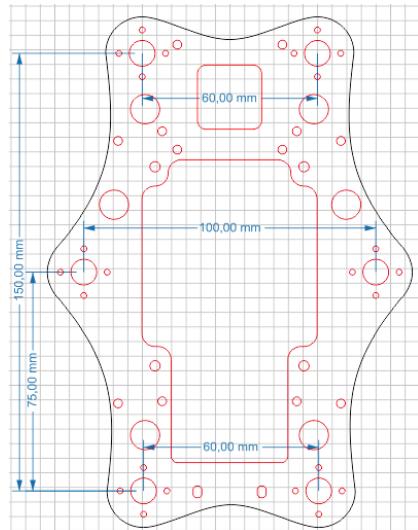


Gambar 13. Desain Bagian Samping Box Sistem

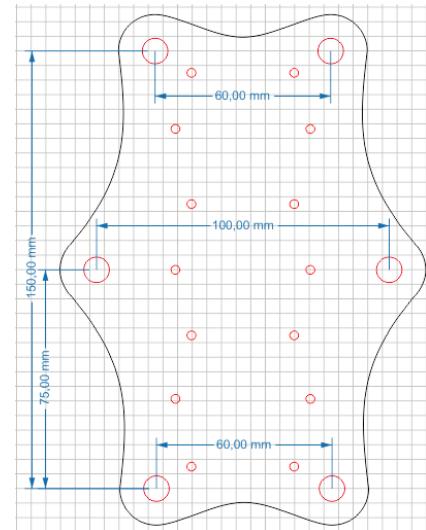


Gambar 14. Desain Bagian Voltmeter

c) Sasis Robot

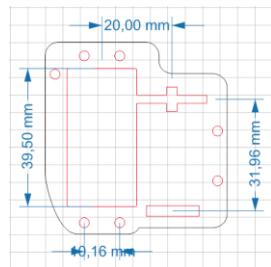


Gambar 15. Desain Sasis Atas Robot *Hexapod*

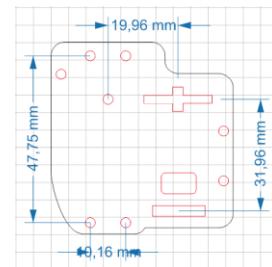


Gambar 16. Desain Sasis Bawah Robot *Hexapod*

d) Bracket Servo

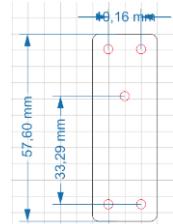


Gambar 17. Desain Bracket Atas Servo

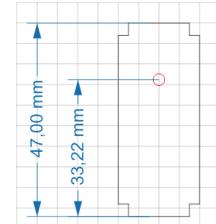


Gambar 18. Desain Bracket Bawah Servo

e) Poros servo

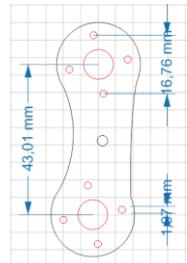


Gambar 19. Desain Poros Servo Femur

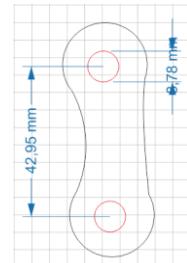


Gambar 20. Desain Poros Servo Tibia

f) Lengan Femur

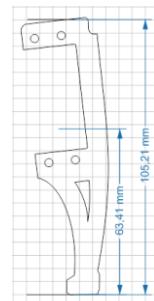


Gambar 21. Desain Lengan Femur Depan



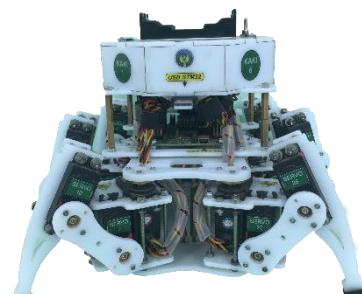
Gambar 22. Desain Lengan Femur Belakang

g) Lengan Tibia



Gambar 23. Desain Lengan Tibia

h) Realisasi Desain Mekanik Robot



Gambar 24. Tampak Depan



Gambar 25. Tampak Belakang



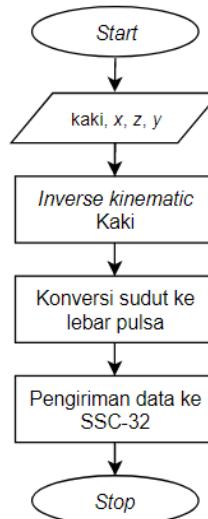
Gambar 26. Tampak Atas

3) Pengembangan Program Robot

Beberapa jenis *software* yang digunakan untuk pengembangan program robot, yaitu LynxTerm, STM32CubeMX dan Keil uVision5. Masing-masing *software* memiliki fungsi yang berbeda-beda. LynxTerm digunakan untuk mengetahui nilai *offset* setiap servo yang nantinya digunakan untuk kalibrasi dalam menentukan koordinat. Untuk melakukan *setup* konfigurasi I/O pada *board* STM32 Nucleo-L432KC menggunakan *software* STM32CubeMX. Untuk pengolah data dan algoritma utama menggunakan *software* Keil uVision5.

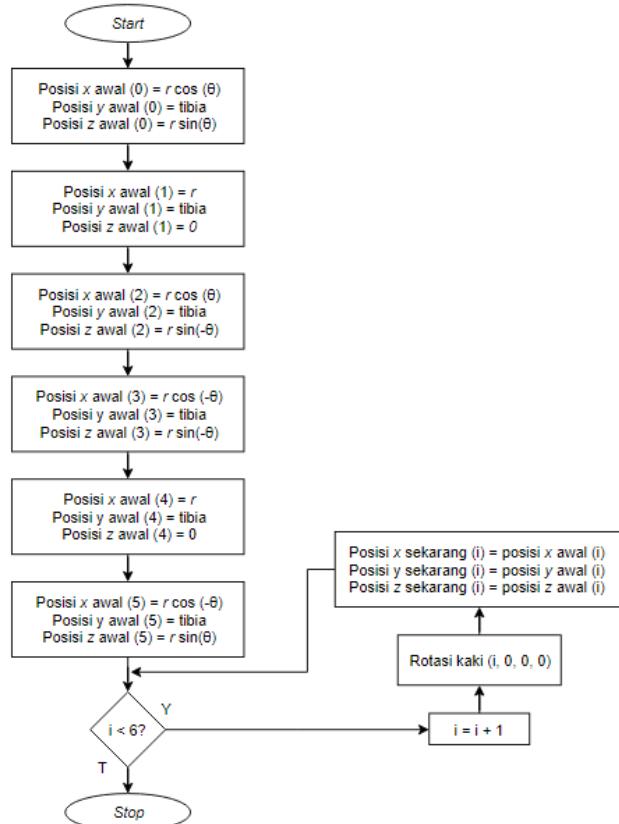
Program robot dibagi menjadi beberapa beberapa bagian, pembagian program disesuaikan dengan kebutuhan percobaan yang dilakukan pada *jobsheet*. Terdapat 3 *job* yang diperlukan program pengolahan data, yaitu *job 2*, *job 3*, dan *job 4*. Berikut merupakan *flowchart* pengembangan program setiap *job*:

a) *Job 3: Inverse Kinematic Satu Kaki*

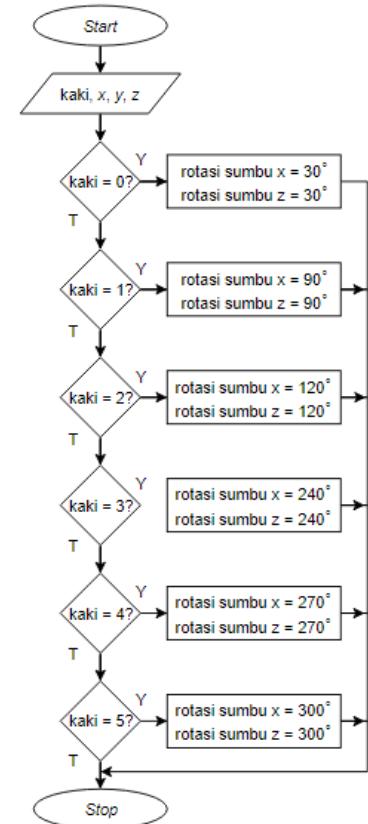


Gambar 27. *Flowchart* Transformasi Gerak

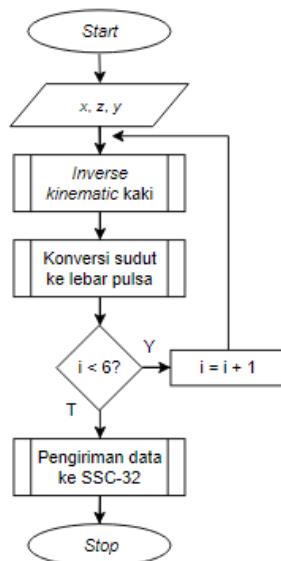
b) Job 4: Inverse Kinematic Tubuh



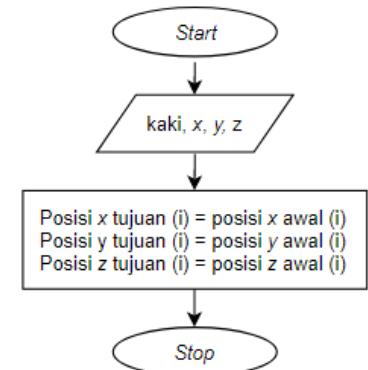
Gambar 28. Flowchart Posisi Awal Kaki



Gambar 29. Flowchart Rotasi Kaki

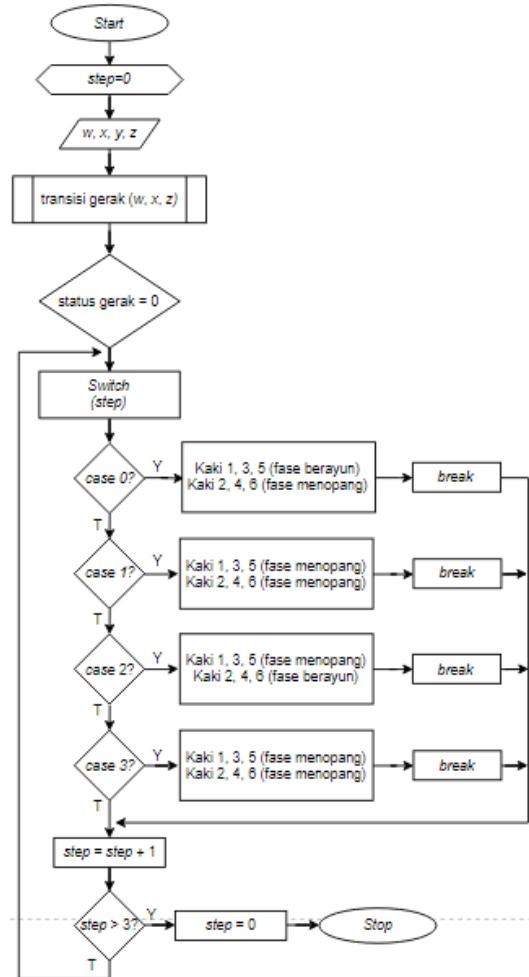


Gambar 30. Flowchart Transformasi Gerak

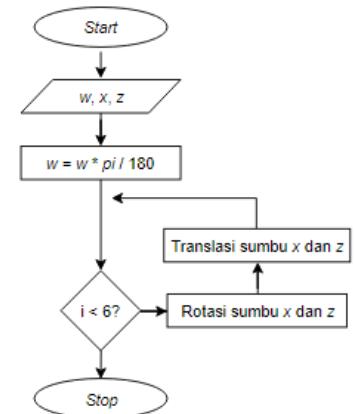


Gambar 31. Flowchart Gerak Setiap Kaki

c) *Job 5: Pergerakan Robot*



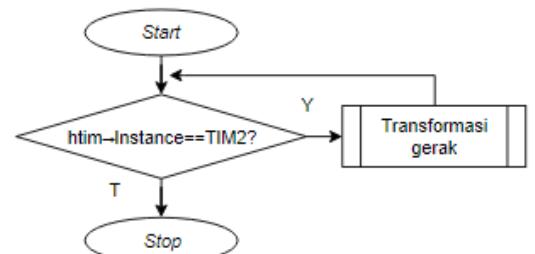
Gambar 32. *Flowchart Tripod Gait*



Gambar 33. *Flowchart Transisi Gerak*



Gambar 34. *Flowchart Program Utama*



Gambar 35. *Flowchart Program Interrupt*

c. Mengembangkan Pedoman Media untuk Peserta Didik

Pengembangan media pembelajaran *inverse kinematic* juga diiringi dengan pembuatan modul dan *jobsheet*. Modul pembelajaran dapat digunakan sebagai sumber belajar tentang *inverse kinematic*. *Jobsheet* dapat digunakan sebagai pedoman untuk peserta didik melakukan praktik menggunakan media pembelajaran *inverse kinematic* secara mandiri. Berikut ini merupakan sistematika dalam penyusunan modul dan *jobsheet*.

1) Sistematika Modul

Daftar Isi

Daftar Gambar

Daftar Tabel

Bagian I: Kinematik Robot

- A. Sistem Robot
- B. Gerak *Holonomic* dan *Nonholonomic*
- C. Konsep Kinematik
- D. Penggunaan Persamaan Trigonometri
 - 1. *Forward Kinematic*
 - 2. *Inverse Kinematic*
- E. Penggunaan Matriks Rotasi dan Translasi
 - 1. Matrik Rotasi
 - 2. Matrik Translasi
 - 3. Matrik Transformasi Homogen
- F. Metode *Denavit Hartenberg* (D-H)
- G. *Inverse Kinematic Robot Hexapod* dengan *Geometric Solution*
 - 1. Perumusan *Inverse Kinematic* Satu Kaki
 - 2. Perumusan *Inverse Kinematic* Tubuh
 - 3. Perumusan Pergerakan Robot

Bagian II: Media Pembelajaran

- A. Bentuk Fisik Media Pembelajaran
- B. Keterangan Notasi Media Pembelajaran
- C. Spesifikasi Media Pembelajaran
- D. Konstruksi Kaki Robot *Hexapod*
- E. Rancang Bangun Robot *Hexapod*
- F. Desain Rangkaian Elektronik
- G. Desain Mekanik
- H. *Software* Pendukung

Daftar Pustaka

2) Sistematika *Jobsheet*

- A. Tujuan
- B. Dasar Teori
- C. Alat dan Bahan
- D. Keselamatan Kerja
- E. Langkah Kerja
- F. Tugas



Gambar 36. Modul



Gambar 37. *Jobsheet*

d. Mengembangkan Pedoman Media untuk Pengajar

Selain untuk peserta didik, modul dan *jobsheet* juga dapat digunakan oleh pengajar. Karena, modul ini juga berisi seluruh uraian materi terkait media pembelajaran *inverse kinematic* menggunakan robot *hexapod*. Modul ini dapat digunakan pengajar sebagai acuan pembelajaran tentang materi *inverse kinematic*.

e. Mengadakan Revisi

Beberapa kali revisi dilakukan dalam proses pengembangan media, modul, *jobsheet* ataupun instrumen penelitian. Peneliti melakukan revisi berdasarkan saran dari dosen pembimbing, beberapa dosen ahli materi dan ahli media. Berikut ini merupakan beberapa revisi yang diberikan kepada peneliti.

Tabel 4. Revisi Media, Modul, *Jobsheet* dan Instrumen Penelitian

No.	Aspek	Revisi
1	Media	<ul style="list-style-type: none"> Notasi komponen pada media pembelajaran Program untuk pembelajaran <i>Box</i> media
2	Modul	<ul style="list-style-type: none"> Sistematika penulisan Substansi materi Nama pembimbing
3	<i>Jobsheet</i>	<ul style="list-style-type: none"> Penyusunan tujuan (ABCD) Substansi materi <i>Flowchart</i> program <i>Font</i> penulisan program Nama pembimbing
4	Instrumen Penelitian	<ul style="list-style-type: none"> Indikator Butir instrumen

f. Mengadakan Uji Coba Media

1) Pengujian *Black Box*

Untuk mengetahui unjuk kerja sebuah media pembelajaran diperlukan pengujian *black box* agar dapat mengetahui fungsi dari perangkat masukan dan keluaran. Pengujian ini dilakukan oleh beberapa responden yaitu satu dosen ahli media dan tiga peserta didik.

Tabel 5. Hasil Penilaian Pengujian *Black Box*

No.	Aspek	No. Butir	Resp. 1 (%)	Resp. 2 (%)	Resp. 3 (%)	Resp. 4 (%)
1	Perangkat Masukan	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	100	100	100	100
2	Perangkat Keluaran	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29	100	100	100	100
3	<i>Port</i> USB	30, 31	100	100	100	100
4	Program Menu	32, 33	100	100	100	100

2) Pengujian Sumber Tegangan

Pengujian yang dilakukan pada sumber tegangan meliputi tegangan masukan dan tegangan keluaran. Robot *hexapod* ini terdiri 2 buah sumber tegangan yang menyuplai, yaitu:

a) Blok Sistem

Sumber tegangan pada blok sistem disuplai oleh *regulator* dengan tegangan keluaran ideal *5 volt*. Tegangan masukan *regulator* menggunakan baterai 18650 ($2 \times 3,7 \text{ volt}$). Tegangan masukan *regulator* terukur pada *voltmeter digital* sebesar *8,08 volt* dan tegangan keluaran *regulator* sebesar *5,01 volt*. Tegangan keluaran tersebut memiliki *error* sebesar 0,2% terhadap tegangan keluaran ideal *regulator*.

Tabel 6. Pengujian Sumber Tegangan pada Blok Sistem

Tegangan Masukan	Tegangan Keluaran Ideal	Tegangan Keluaran	Error
8,08 volt	5 volt	5,01 volt	0,2%

b) Blok Servo

Sumber tegangan pada blok servo disuplai oleh UBEC dengan tegangan keluaran ideal *5 volt*. Tegangan masukan UBEC menggunakan baterai 3s (*11,1 volt*). Tegangan masukan UBEC terukur pada *voltmeter digital* sebesar *12,44 volt* dan tegangan keluaran UBEC sebesar *5,20 volt*. Tegangan keluaran tersebut memiliki *error* sebesar 2% terhadap tegangan keluaran ideal UBEC.

Tabel 7. Pengujian Sumber Tegangan pada Blok Servo

Tegangan Masukan	Tegangan Keluaran Ideal	Tegangan Keluaran	Error
12,44 volt	5 volt	5,20 volt	2%

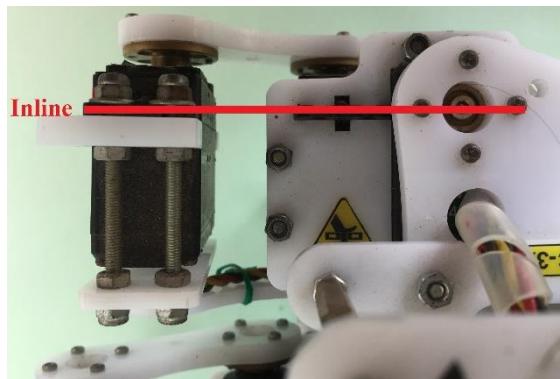
c) Pengujian Kalibrasi Servo

Pengujian kalibrasi servo bertujuan untuk mengatur posisi awal masing-masing servo sebelum mendapatkan perhitungan *inverse kinematic*, sehingga dapat mempermudah dalam perumusan *inverse kinematic*.

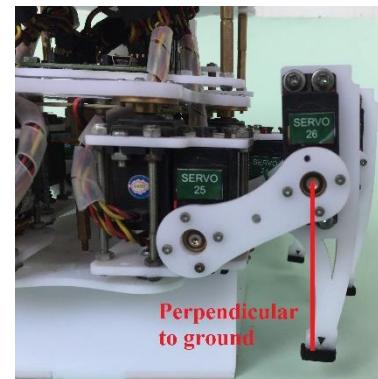
Tabel 8. Hasil Kalibrasi Servo

Nomor Kaki	Nomor Servo	Nilai Default Servo	Nilai Offset Servo
1	0	1800	-10
	1	1500	-46
	2	1500	40
2	4	1500	-40
	5	1500	-60
	6	1500	0
3	8	1200	-56
	9	1500	51
	10	1500	-98
4	16	1200	-100
	17	1500	-2
	18	1500	44
5	20	1500	6-
	21	1500	-100
	22	1500	35
6	24	1800	27
	25	1500	-8
	26	1500	-10

Berikut ini merupakan posisi *default* ketika melakukan kalibrasi servo.



Gambar 38. Posisi *Default* untuk Kalibrasi Tampak Atas



Gambar 39. Posisi *Default* untuk Kalibrasi Tampak Depan

3) Pengujian Pengaruh Nilai X , Y , dan Z

Pengujian pengaruh nilai x , y , dan z pada perumusan *inverse kinematic* dilakukan berdasarkan pengamatan yang terdapat pada *jobsheet 2*.

a) Kaki Nomor 1

Tabel 9. Pengujian Pengaruh Nilai X (nilai X awal = 55mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	X_{data} (mm)	X_{data} (mm)	X_{ukur} (mm)			
1	40	15	13	13,33	8,33	8,33
2	45	10	10	0		
3	50	5	4	20		
4	60	5	5	0		
5	65	10	9	10		
6	70	15	14	6,67		

Tabel 10. Pengujian Pengaruh Nilai Y (nilai Y awal = 65mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Y_{data} (mm)	Y_{data} (mm)	Y_{ukur} (mm)			
1	60	5	6	20	10	10
2	70	5	5	0		

Tabel 11. Pengujian Pengaruh Nilai Z (nilai Z awal = 0mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Z_{data} (mm)	Z_{data} (mm)	Z_{ukur} (mm)			
1	-15	15	17	13,33	12,77	12,77
2	-10	10	12	20		
3	-5	5	5	0		
4	5	5	6	20		
5	10	10	11	10		
6	15	15	17	13,33		

b) Kaki Nomor 2

Tabel 12. Pengujian Pengaruh Nilai X (nilai X awal = 55mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	X_{data} (mm)	X_{data} (mm)	X_{ukur} (mm)			
1	40	15	13	13,33	6,67	6,67
2	45	10	9	10		
3	50	5	5	0		
4	60	5	5	0		
5	65	10	9	10		
6	70	15	14	6,67		

Tabel 13. Pengujian Pengaruh Nilai Y (nilai Y awal = 65mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Y _{data} (mm)	Y _{data} (mm)	Y _{ukur} (mm)		
1	60	5	5	0	10
2	70	5	4	20	

Tabel 14. Pengujian Pengaruh Nilai Z (nilai Z awal = 0mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Z _{data} (mm)	Z _{data} (mm)	Z _{ukur} (mm)		
1	-15	15	14	6,67	5
2	-10	10	9	10	
3	-5	5	5	0	
4	5	5	5	0	
5	10	10	10	0	
6	15	15	13	13,33	

c) Kaki Nomor 3

Tabel 15. Pengujian Pengaruh Nilai X (nilai X awal = 55mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	X _{data} (mm)	X _{data} (mm)	X _{ukur} (mm)		
1	40	15	13	13,33	8,33
2	45	10	9	10	
3	50	5	4	20	
4	60	5	5	0	
5	65	10	10	0	
6	70	15	14	6,67	

Tabel 16. Pengujian Pengaruh Nilai Y (nilai Y awal = 65mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Y _{data} (mm)	Y _{data} (mm)	Y _{ukur} (mm)		
1	60	5	6	20	10
2	70	5	5	0	

Tabel 17. Pengujian Pengaruh Nilai Z (nilai Z awal = 0mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Z _{data} (mm)	Z _{data} (mm)	Z _{ukur} (mm)		
1	-15	15	16	6,67	6,67
2	-10	10	11	10	
3	-5	5	5	0	
4	5	5	5	0	
5	10	10	11	10	
6	15	15	17	13,33	

d) Kaki Nomor 4

Tabel 18. Pengujian Pengaruh Nilai X (nilai X awal = 55mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	X _{data} (mm)	X _{data} (mm)	X _{ukur} (mm)			
1	40	15	14	6,67	3,89	3,89
2	45	10	10	0		
3	50	5	5	0		
4	60	5	5	0		
5	65	10	9	10		
6	70	15	14	6,67		

Tabel 19. Pengujian Pengaruh Nilai Y (nilai Y awal = 65mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Y _{data} (mm)	Y _{data} (mm)	Y _{ukur} (mm)			
1	60	5	6	20	20	20
2	70	5	6	20		

Tabel 20. Pengujian Pengaruh Nilai Z (nilai Z awal = 0mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Z _{data} (mm)	Z _{data} (mm)	Z _{ukur} (mm)			
1	-15	15	16	6,67	6,11	6,11
2	-10	10	11	10		
3	-5	5	6	20		
4	5	5	5	0		
5	10	10	10	0		
6	15	15	15	0		

e) Kaki Nomor 5

Tabel 21. Pengujian Pengaruh Nilai X (nilai X awal = 55mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	X _{data} (mm)	X _{data} (mm)	X _{ukur} (mm)			
1	40	15	16	6,67	8,89	8,89
2	45	10	11	10		
3	50	5	6	20		
4	60	5	5	0		
5	65	10	9	10		
6	70	15	14	6,67		

Tabel 22. Pengujian Pengaruh Nilai Y (nilai Y awal = 65mm)

No.	Masukan		Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Y _{data} (mm)	Y _{data} (mm)	Y _{ukur} (mm)			
1	60	5	5	0	10	10
2	70	5	6	20		

Tabel 23. Pengujian Pengaruh Nilai Z (nilai Z awal = 0mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Z _{data} (mm)	Z _{data} (mm)	Z _{ukur} (mm)		
1	-15	15	16	6,67	10
2	-10	10	11	10	
3	-5	5	5	0	
4	5	5	6	20	
5	10	10	11	10	
6	15	15	17	13,33	

f) Kaki Nomor 6

Tabel 24. Pengujian Pengaruh Nilai X (nilai X awal = 55mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	X _{data} (mm)	X _{data} (mm)	X _{ukur} (mm)		
1	40	15	17	13,33	8,33
2	45	10	10	0	
3	50	5	5	0	
4	60	5	6	20	
5	65	10	11	10	
6	70	15	16	6,67	

Tabel 25. Pengujian Pengaruh Nilai Y (nilai Y awal = 65mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Y _{data} (mm)	Y _{data} (mm)	Y _{ukur} (mm)		
1	60	5	6	20	10
2	70	5	5	0	

Tabel 26. Pengujian Pengaruh Nilai Z (nilai Z awal = 0mm)

No.	Masukan	Selisih		Error (%)	Rerata Error (%)
	Z _{data} (mm)	Z _{data} (mm)	Z _{ukur} (mm)		
1	-15	15	17	13,33	6,67
2	-10	10	11	10	
3	-5	5	5	0	
4	5	5	5	0	
5	10	10	11	10	
6	15	15	16	6,67	

Tabel 27. Hasil Pengujian Keseluruhan Kaki

Nomor Kaki	Rerata <i>Error</i> Setiap Kaki (%)		
	X	Y	Z
1	8,33	10	12,776
2	6,67	10	5
3	8,33	10	6,67
4	3,89	20	6,11
5	8,89	10	10
6	8,33	10	6,67
Rerata <i>Error</i>	7,4%	11,67%	7,87%

Dalam pengujian pengaruh nilai x , y , dan z pada setiap kaki memiliki keterbatasan nilai perubahan. Batas perubahan koordinat sumbu x adalah -15mm hingga +15mm, sumbu y adalah -5mm hingga +5mm, dan sumbu z adalah -15mm hingga +15mm. Keterbatasan tersebut dikarenakan dimensi mekanik robot yang terbatas. Apabila kaki digerakan melebihini batas maksimal/minimal yang telah ditentukan maka pergerakan kaki akan terbentur dengan kaki lainnya/pergerakan menjadi kacau. Dari data yang diperoleh, persentase rerata *error* pada sumbu x sebesar 7,4%, sumbu y sebesar 11,67%, dan sumbu z sebesar 7,87%. Nilai *error* tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain posisi *offset* servo yang tidak tepat, kondisi mekanik yang tidak kokoh, dan kurang presisi dalam pengukuran *end-effector*.

4) Pengujian Kendali Seluruh Kaki Robot

Pengujian kendali seluruh kaki robot dilakukan berdasarkan pengamatan yang terdapat pada *jobsheet* 3. Pada *jobhseet* 3 dilakukan pengamatan tentang pengaruh nilai x , y , dan z terhadap pergerakan kaki robot.

- a) Pengujian Posisi Awal Kaki pada Sudut 0°

Tabel 28. Lokasi Koordinat Lokal pada Posisi Awal 0°

Nomor Kaki	Koordinat Lokal (Hitung)			Koordinat Lokal (Ukur)		
	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
1	55	65	0	69	66	0
2	55	65	0	67	65	0
3	55	65	0	68	67	0
4	-55	65	0	69	65	0
5	-55	65	0	66	65	0
6	-55	65	0	68	67	0



Gambar 40. Kaki Robot pada Posisi Awal 0°

- b) Pengujian Posisi Awal Kaki pada Sudut 15°

Tabel 29. Lokasi Koordinat Lokal pada Posisi Awal 15°

Nomor Kaki	Koordinat Lokal (Hitung)			Koordinat Lokal (Ukur)		
	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
1	53,12	65	14,23	64	66	17
2	55	65	0	67	65	0
3	53,12	65	-14,23	65	67	16
4	-53,12	65	-14,23	63	65	17
5	55	65	0	66	65	0
6	-53,12	65	14,23	66	67	18



Gambar 41. Kaki Robot pada Posisi Awal 15°

c) Pengujian Posisi Awal Kaki pada Sudut 30°

Tabel 30. Lokasi Koordinat Lokal pada Posisi Awal 30°

Nomor Kaki	Koordinat Lokal (Hitung)			Koordinat Lokal (Ukur)		
	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
1	47,63	65	27,5	56	66	33
2	55	65	0	67	65	0
3	47,63	65	-27,5	58	67	33
4	-47,63	65	-27,5	59	65	32
5	-55	65	0	66	65	0
6	-47,63	65	27,5	58	67	33



Gambar 42. Kaki Robot pada Posisi Awal 30°

Dalam pengujian posisi awal kaki pada sudut 0° , 15° , dan 30° mendapatkan hasil *error* seperti tabel berikut:

Tabel 31. Rerata *Error* Setiap Kaki pada Sumbu X, Y, dan Z

Nomor Kaki	Posisi Awal								
	0°			15°			30°		
	x (%)	x (%)	x (%)	y (%)	y (%)	y (%)	z (%)	z (%)	z (%)
1	25,45	20,48	17,57	1,53	1,53	1,53	0	19,46	20
2	21,81	21,81	21,81	0	0	0	0	0	0
3	23,53	22,36	21,77	3,07	3,07	3,07	0	12,43	20
4	25,45	19,05	23,87	0	0	0	0	19,46	16,36
5	20	20	20	0	0	0	0	0	0
6	23,53	24,24	21,77	3,07	3,07	3,07	0	26,49	20

Nilai *error* pada pengukuran tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain posisi *offset* servo yang tidak tepat, kondisi mekanik yang kurang presisi, dan kurang presisi dalam pengukuran *end-effector* yang disebabkan oleh keterbatasan ruang untuk pengukuran dan alat ukut.

5) Pengujian Pergerakan Robot

Pengujian pergerakan robot dilakukan berdasarkan pengamatan yang terdapat pada *jobsheet* 4. Pada *jobsheet* 4 dilakukan pengamatan tentang pengaruh masukan w , x , y , dan z terhadap pergerakan robot.

Tabel 32. Hasil Pergerakan Robot

Masukan				Keluaran
w	x	y	z	Pergerakan Robot
0	0	10	16	Maju
0	10	10	0	Geser ke kanan
0	10	10	10	Diagonal ke kanan (berjalan maju)
0	-10	10	10	Diagonal ke kiri (berjalan maju)
0	0	10	-16	Mundur
0	-10	10	0	Geser ke kiri
0	10	10	-10	Diagonal ke kanan (berjalan mundur)
0	-10	10	-10	Diagonal ke kiri (berjalan mundur)
5	0	10	0	Putar ke kiri
-5	0	10	0	Putar ke kanan
5	0	10	16	Belok ke kiri (berjalan maju)
-5	0	10	16	Belok ke kanan (berjalan maju)
5	0	10	-16	Belok ke kiri (berjalan mundur)
-5	0	10	-16	Belok ke kanan (berjalan mundur)

Pergerakan yang dihasilkan oleh robot masih kurang maksimal, hal tersebut disebabkan oleh beberapa hal yaitu kalibrasi *offset* servo yang kurang tepat, konstruksi mekanik yang kurang presisi, dan komponen aktuator yang sudah usang.

4. Hasil Implementasi

a. Mempersiapkan Pengajar

Pengajar dipersiapkan dengan cara memberikan pengetahuan yang tentang tata cara penggunaan media pembelajaran, materi *inverse kinematic* dan beberapa tugas yang akan diberikan kepada peserta didik.

b. Mempersiapkan Peserta Didik

Peserta didik dipersiapkan dengan cara memberikan pengetahuan dasar mengenai media pembelajaran *inverse kinematic* dan meminta peserta didik untuk memahami uraian materi pada modul dan langkah kerja pada *jobsheet* sebelum melaksanakan praktek menggunakan media pembelajaran *inverse kinematic*.

5. Hasil Evaluasi

a. Menentukan Kriteria Evaluasi

Kriteria evaluasi yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah evaluasi presepsi. Evaluasi presepsi digunakan untuk mengetahui presepsi peserta didik tentang robot *hexapod* yang digunakan sebagai media pembelajaran untuk mempelajari *inverse kinematic*.

b. Memilih Alat-alat Evaluasi

Alat evaluasi yang digunakan oleh peneliti adalah kuesioner dengan skala *likert* empat pilihan yang nantinya akan dinilai oleh para ahli materi, media dan pengguna. Kuesioner untuk ahli materi terdiri dari 21 butir, ahli media terdiri dari 23 butir dan pengguna terdiri dari 28 butir.

c. Mengadakan Evaluasi

Kuesioner dibagikan kepada 2 ahli materi, 2 ahli media dan pengguna. Ahli materi akan menilai substansi materi yang terdapat pada modul dan *jobsheet* *inverse kinematic*, ahli media akan menilai media yang akan digunakan dalam pembelajaran, dan peserta didik akan menilai setelah menggunakan media pembelajaran *inverse kinematic*.

1) Hasil Uji Kelayakan oleh Ahli Materi

Tabel 33. Hasil Uji Ahli Materi

Responden	Aspek			Jumlah Skor
	Isi dan Tujuan	Pembelajaran/ Instruksional	Teknis	
Ahli Materi 1	32	28	24	84
Ahli Materi 2	30	25	20	75

2) Hasil Kelayakan oleh Ahli Media

Tabel 34. Hasil Uji Ahli Media

Responden	Aspek			Jumlah Skor
	Isi dan Tujuan	Pembelajaran/ Instruksional	Teknis	
Ahli Media 1	24	26	36	86
Ahli Media 2	23	28	40	91

3) Hasil Kelayakan oleh Pengguna

Tabel 35. Hasil Uji Pengguna

Responden	Aspek			Jumlah Skor
	Isi dan Tujuan	Pembelajaran/ Instruksional	Teknis	
Mahasiswa 1	34	31	36	101
Mahasiswa 2	31	28	28	87
Mahasiswa 3	28	24	29	81
Mahasiswa 4	30	26	30	86
Mahasiswa 5	29	30	36	95
Mahasiswa 6	32	30	36	98
Mahasiswa 7	26	29	31	86
Mahasiswa 8	29	27	30	86
Mahasiswa 9	31	31	31	93
Mahasiswa 10	26	24	27	77
Mahasiswa 11	33	33	37	103
Mahasiswa 12	26	25	30	81
Mahasiswa 13	34	31	33	98
Mahasiswa 14	28	30	32	90
Mahasiswa 15	29	32	37	98
Mahasiswa 16	34	34	33	101
Mahasiswa 17	31	28	30	89
Mahasiswa 18	28	29	33	90
Mahasiswa 19	26	25	27	78
Mahasiswa 20	30	30	33	93

B. Analisis Data

1. Analisis Kelayakan Materi Pembelajaran

Penilaian kelayakan media melibatkan dua orang dosen ahli. Dosen ahli materi yang pertama adalah Suprapto, S.Pd., M.T., Ph.D dan dosen ahli materi yang kedua yaitu Muhammad Izzuddin M, S.Pd.T., M.Cs. Penilaian tingkat kelayakan materi pembelajaran dibagi menjadi 3 aspek, yaitu aspek isi dan tujuan, aspek pembelajaran/instruksional dan aspek teknis.

a. Isi dan Tujuan

Tingkat kelayakan materi pembelajaran pada aspek isi dan tujuan dinilai dari 8 butir soal dengan skor maksimal 32 dan skor minimal 8 dengan *mean* 20 dan simpangan baku 4. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan materi pembelajaran pada aspek isi dan tujuan.

Tabel 36. Kriteria Tingkat Kelayakan Materi pada Aspek Isi dan Tujuan

Interval				Kategori
26	<	X	\leq	32
20	<	X	\leq	26
14	<	X	\leq	20
8	<	X	\leq	14

Tabel 37. Kelayakan Materi pada Aspek Isi dan Tujuan

Ahli Materi	Butir								Jumlah Skor	Kategori
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	4	4	4	4	4	4	4	4	32	SL
2	4	4	3	3	4	4	4	4	30	SL
Rerata								31	SL	
Percentase								96,87%		

Berdasarkan tabel hasil penilaian kelayakan materi pada aspek isi dan tujuan di atas memperoleh skor rerata 31 dengan persentase 96,87% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak (SL).

b. Pembelajaran/Instruksional

Tingkat kelayakan materi pembelajaran pada aspek pembelajaran/instruksional dinilai dari 7 butir soal dengan skor maksimal 28 dan skor minimal 7 dengan *mean* 17,5 dan simpangan baku 3,5. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan materi pembelajaran pada aspek pembelajaran/instruksional.

Tabel 38. Kriteria Tingkat Kelayakan Materi pada Aspek Pembelajaran/Instruksional

Interval					Kategori
22,75	<	X	\leq	28	SL
17,5	<	X	\leq	22,75	L
12,25	<	X	\leq	17,5	TL
7	<	X	\leq	12,25	STL

Tabel 39. Kelayakan Materi pada Aspek Pembelajaran/Instruksional

Ahli Materi	Butir							Jumlah Skor	Kategori
	9	10	11	12	13	14	15		
1	4	4	4	4	4	4	4	28	SL
2	3	3	4	3	4	4	4	25	SL
Rerata							26,5	SL	
Persentase							94,64%		

Berdasarkan tabel hasil penilaian kelayakan materi pada aspek pembelajaran/instruksional di atas memperoleh skor rerata 26,5 dengan persentase 94,64% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak (SL).

c. Teknis

Tingkat kelayakan materi pembelajaran pada aspek teknis dinilai dari 6 butir soal dengan skor maksimal 24 dan skor minimal 6 dengan *mean* 15 dan simpangan baku 3. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan materi pembelajaran pada aspek teknis.

Tabel 40. Kriteria Tingkat Kelayakan Materi pada Aspek Teknis

Interval					Kategori
19,5	<	X	\leq	24	SL
15	<	X	\leq	19,5	L
10,5	<	X	\leq	15	TL
6	<	X	\leq	10,5	STL

Tabel 41. Kelayakan Materi pada Aspek Teknis

Ahli Materi	Butir						Jumlah Skor	Kategori
	16	17	18	19	20	21		
1	4	4	4	4	4	4	24	SL
2	3	3	4	4	3	3	20	SL
Rerata							22	SL
Persentase							91,67%	

Berdasarkan tabel hasil penilaian kelayakan materi pada aspek pembelajaran/instruksional di atas memperoleh skor rerata 22 dengan persentase 91,67% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak (SL).

d. Keseluruhan Aspek

Tingkat kelayakan materi pembelajaran pada seluruh aspek dinilai dari 21 butir soal dengan rincian 8 butir soal untuk aspek isi dan tujuan, 7 butir soal untuk aspek pembelajaran/instruksional dan 6 butir soal untuk aspek teknis. Skor maksimal yang diperoleh dari seluruh aspek adalah 84 dan skor minimal 21 dengan *mean* 52,5 dan simpangan baku 10,5. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan materi pembelajaran.

Tabel 42. Kriteria Tingkat Kelayakan Materi pada Keseluruhan Aspek

Interval					Kategori
68,25	<	X	\leq	84	SL
52,5	<	X	\leq	68,25	L
36,75	<	X	\leq	52,5	TL
21	<	X	\leq	36,75	STL

Tabel 43. Kelayakan Materi pada Keseluruhan Aspek

Ahli Materi	Butir			Jumlah Skor	Kategori
	Isi dan Tujuan	Pembelajaran/Instruksional	Teknis		
1	32	28	24	84	SL
2	30	25	20	75	SL
Rerata				79,5	SL
Percentase				94,64%	

Berdasarkan tabel hasil penilaian kelayakan materi pada seluruh aspek di atas memperoleh skor rerata 79,5 dengan persentase 94,64% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak (SL).

2. Analisis Kelayakan Media Pembelajaran

Penilaian kelayakan media melibatkan dua orang dosen ahli. Dosen ahli media yang pertama adalah Dr. Ir. Fatchul Arifin, M.T dan dosen ahli media yang kedua yaitu Arya Sony, S.T., M.Eng. Penilaian tingkat kelayakan media pembelajaran dibagi menjadi 3 aspek, yaitu aspek isi dan tujuan, aspek pembelajaran/instruksional dan aspek teknis.

a. Isi dan Tujuan

Tingkat kelayakan media pembelajaran pada aspek isi dan tujuan dinilai dari 6 butir soal dengan skor maksimal 24 dan skor minimal 6 dengan *mean* 15 dan simpangan baku 3. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan media pembelajaran pada aspek isi dan tujuan.

Tabel 44. Kriteria Tingkat Kelayakan Media pada Aspek Isi dan Tujuan

Interval					Kategori
19,5	<	X	\leq	24	SL
15	<	X	\leq	19,5	L
10,5	<	X	\leq	15	TL
6	<	X	\leq	10,5	STL

Tabel 45. Kelayakan Media pada Aspek Isi dan Tujuan

Ahli Media	Butir						Jumlah Skor	Kategori
	1	2	3	4	5	6		
1	4	4	4	4	4	4	24	SL
2	4	4	4	4	3	4	23	SL
Rerata							23,5	SL
Persentase							97,92%	

Berdasarkan tabel hasil penilaian kelayakan media pada aspek isi dan tujuan di atas memperoleh skor rerata 23,5 dengan persentase 97,92% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak (SL).

b. Pembelajaran/Instruksional

Tingkat kelayakan media pembelajaran pada aspek pembelajaran/instruksional dinyatakan dengan skor maksimal 28 dan skor minimal 7 dengan *mean* 17,5 dan simpangan baku 3,5. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan media pembelajaran pada aspek pembelajaran/instruksional.

Tabel 46. Kriteria Tingkat Kelayakan Media pada Aspek Pembelajaran/Instruksional

Interval					Kategori
22,75	<	X	\leq	28	SL
17,5	<	X	\leq	22,75	L
12,25	<	X	\leq	17,5	TL
7	<	X	\leq	12,25	STL

Tabel 47. Kelayakan Media pada Aspek Pembelajaran/Instruksional

Ahli Media	Butir							Jumlah Skor	Kategori
	7	8	9	10	11	12	13		
1	4	3	4	4	4	4	3	26	SL
2	4	4	4	4	4	4	4	28	SL
Rerata								27	SL
Persentase								96,43%	

Berdasarkan tabel hasil penilaian kelayakan media pada aspek pembelajaran/instruksional di atas memperoleh skor rerata 27 dengan persentase 96,43% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak (SL).

c. Teknis

Tingkat kelayakan media pembelajaran pada aspek teknis dinilai dari 10 butir soal dengan skor maksimal 40 dan skor minimal 10 dengan *mean* 25 dan simpangan baku 5. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan media pembelajaran pada aspek teknis.

Tabel 48. Kriteria Tingkat Kelayakan Media pada Aspek Teknis

Interval					Kategori
32,5	<	X	\leq	40	SL
25	<	X	\leq	32,5	L
17,5	<	X	\leq	25	TL
10	<	X	\leq	17,5	STL

Tabel 49. Kelayakan Media pada Aspek Teknis

Ahli Media	Butir										Jumlah Skor	Kategori
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
1	4	3	3	3	4	3	4	4	4	4	36	SL
2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	SL
Rerata										38	SL	95%
Persentase										95%		

Berdasarkan tabel hasil penilaian kelayakan media pada aspek teknis di atas memperoleh skor rerata 38 dengan persentase 95% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak (SL).

d. Keseluruhan Aspek

Tingkat kelayakan media pembelajaran pada seluruh aspek dinilai dari 23 butir soal dengan rincian 6 butir soal untuk aspek isi dan tujuan, 7 butir soal untuk aspek pembelajaran/instruksional dan 10 butir soal untuk aspek teknis. Skor

maksimal yang diperoleh dari seluruh aspek adalah 92 dan skor minimal 23 dengan *mean* 57,5 dan simpangan baku 11,5. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan media pembelajaran.

Tabel 50. Kriteria Tingkat Kelayakan Media pada Seluruh Aspek

Interval					Kategori
74,75	<	X	\leq	92	SL
57,5	<	X	\leq	74,75	L
40,25	<	X	\leq	57,5	TL
23	<	X	\leq	40,25	STL

Tabel 51. Kelayakan Media pada Seluruh Aspek

Ahli Media	Aspek			Jumlah Skor	Kategori
	Isi dan Tujuan	Pembelajaran/Instruksional	Teknis		
1	24	26	36	86	SL
2	23	28	40	91	SL
Rerata				88,5	SL
Percentase				96,2%	

Berdasarkan tabel hasil penilaian kelayakan media pada seluruh aspek di atas memperoleh skor rerata 88,5 dengan persentase 96,2% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak (SL).

3. Analisis Kelayakan oleh Pengguna

a. Validitas Instrumen

Instrumen yang telah divalidasi oleh para ahli, selanjutnya dilakukan uji validitas setiap butir oleh pengguna. Instrumen penilaian pengguna ditinjau dari tiga aspek yaitu aspek kualitas isi dan tujuan, kualitas pembelajaran/instruksional dan kualitas teknis yang diambil dari instrumen ahli materi dan ahli media. Berikut ini merupakan hasil uji validitas instrumen untuk butir nomor 1.

Tabel 52. Hasil Uji Validitas Instrumen Butir Nomor 1

Responden	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	4	101	404	16	10201
2	3	87	261	9	7569
3	3	81	243	9	6561
4	4	86	344	16	7396
5	3	95	285	9	9025
6	4	98	392	16	9604
7	3	86	258	9	7396
8	3	86	258	9	7396
9	3	93	279	9	8649
10	4	77	308	16	5929
11	3	103	309	9	10609
12	3	81	243	9	6561
13	4	98	392	16	9604
14	3	90	270	9	8100
15	3	98	294	9	9604
16	3	101	303	9	10201
17	3	89	267	9	7921
18	3	90	270	9	8100
19	3	78	234	9	6084
20	3	93	279	9	8649
Σ	47	1262	4246	161	114600

Berdasarkan tabel di atas, diketahui:

$$\Sigma X = 47 \quad \Sigma X^2 = 161 \quad \Sigma XY = 4246$$

$$\Sigma Y = 1262 \quad \Sigma X^2 = 114600$$

Untuk mengetahui valid atau tidaknya butir instrumen dapat diketahui dengan mengorelasikan antara skor butir (X) dengan skor total (Y).

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

$$r_{xy} = \frac{20 \times 4246 - 47 \times 1262}{\sqrt{\{20 \times 161 - (47)^2\}\{20 \times 114600 - (1262)^2\}}} = 0,109$$

Kriteria untuk mengetahui tingkat keabsahan butir instrumen yaitu ketika $R_{hitung} \geq R_{tabel}$, maka butir instrumen tersebut dianggap valid. Berdasarkan tabel r *product moment* (lampiran 19) maka diperoleh nilai R_{tabel} dengan taraf signifikan 5% sebesar 0,4438. Dari hasil perhitungan di atas mendapatkan nilai R_{hitung} sebesar 0,109. Nilai $0,109 \leq 0,4438$ maka butir 1 dinyatakan tidak valid. Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan seluruh butir instrumen.

Tabel 53. Hasil Uji Validitas Instrumen

Butir	R_{hitung}	R_{tabel}	Keterangan	Butir	R_{hitung}	R_{tabel}	Keterangan
1	0,109	0,4438	Tidak Valid	15	0,415	0,4438	Tidak Valid
2	0,554	0,4438	Valid	16	0,475	0,4438	Valid
3	0,557	0,4438	Valid	17	0,580	0,4438	Valid
4	0,448	0,4438	Valid	18	0,454	0,4438	Valid
5	0,521	0,4438	Valid	19	0,497	0,4438	Valid
6	0,505	0,4438	Valid	20	0,645	0,4438	Valid
7	0,466	0,4438	Valid	21	0,548	0,4438	Valid
8	0,551	0,4438	Valid	22	0,313	0,4438	Tidak Valid
9	0,079	0,4438	Tidak Valid	23	0,455	0,4438	Valid
10	0,584	0,4438	Valid	24	0,472	0,4438	Valid
11	0,454	0,4438	Valid	25	0,503	0,4438	Valid
12	0,612	0,4438	Valid	26	0,554	0,4438	Valid
13	0,537	0,4438	Valid	27	0,539	0,4438	Valid
14	0,466	0,4438	Valid	28	0,472	0,4438	Valid

Berdasarkan hasil perhitungan validitas butir instrumen di atas, terdapat beberapa butir instrumen yang tidak valid (butir 1, 9, 15, dan 22). Seluruh butir yang tidak valid tersebut dibuang/dihilangkan dan tidak digunakan untuk menghitung tingkat kelayakan media oleh pengguna.

b. Reliabilitas Instrumen

Pengujian reliabilitas instrumen dilakukan pada instrumen yang digunakan untuk menguji kelayakan media oleh pengguna. Untuk mengetahui

tingkat reliabilitas instrumen, pengujian instrumen menggunakan rumus *alpha (α) cronbach*.

$$r_i = \frac{n}{(n-1)} \left\{ 1 - \frac{\sum \sigma_b^2}{\sigma_t^2} \right\} \rightarrow r_i = \frac{24}{(24-1)} \left\{ 1 - \frac{8,1625}{52,0875} \right\} \rightarrow r_i = 0,8799$$

Nilai *r* yang diperoleh dengan rumus *alpha (α) cronbach* memperoleh hasil sebesar 0,8799. Berdasarkan tabel 8 nilai tersebut memiliki tingkat koefisien reliabel yang sangat tinggi. Sehingga instrumen tersebut dapat dipercaya ketika digunakan untuk mengukur objek penelitian.

c. Kelayakan Media

Penilaian tingkat kelayakan media pembelajaran oleh pengguna dilakukan setelah peserta didik melakukan praktek menggunakan media pembelajaran yang diuji. Penilaian kelayakan oleh pengguna dibagi menjadi 3 aspek, yaitu aspek isi dan tujuan, aspek pembelajaran/instruksional dan aspek teknis. Butir yang digunakan untuk menentukan kelayakan media terdiri dari 24 dengan rincian 7 butir soal untuk aspek isi dan tujuan, 8 butir soal untuk aspek pembelajaran/instruksional dan 9 butir soal untuk aspek teknis. Skor maksimal yang diperoleh dari seluruh aspek adalah 96 dan skor minimal 24 dengan *mean* 60 dan simpangan baku 12. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan interval skor dari kategori kelayakan media pembelajaran.

Tabel 54. Kriteria Tingkat Kelayakan Media Pembelajaran oleh Pengguna

Interval					Kategori
78	<	X	≤	96	SL
60	<	X	≤	78	L
42	<	X	≤	60	TL
24	<	X	≤	42	STL

Tabel 55. Kelayakan Media Pembelajaran oleh Pengguna

Ahli Media	Aspek			Jumlah Skor	Kategori
	Isi dan Tujuan	Pembelajaran/ Instruksional	Teknis		
1	27	28	33	88	Sangat Layak
2	25	24	26	75	Layak
3	22	21	26	69	Layak
4	23	23	26	72	Layak
5	23	27	32	82	Sangat Layak
6	25	27	33	85	Sangat Layak
7	20	26	28	74	Layak
8	23	25	28	76	Layak
9	25	28	27	80	Sangat Layak
10	19	21	25	65	Layak
11	26	29	33	88	Sangat Layak
12	20	22	27	69	Layak
13	27	27	29	83	Sangat Layak
14	22	27	29	78	Layak
15	22	28	34	84	Sangat Layak
16	28	30	30	88	Sangat Layak
17	24	25	27	76	Layak
18	21	26	30	77	Layak
19	19	22	23	64	Layak
20	24	28	30	82	Sangat Layak
Rerata				77,8	Layak
Persentase				80,99%	

Berdasarkan hasil pengujian kepada 20 mahasiswa yang mengambil konsentrasi Elektronika Industri mendapatkan skor rerata 77,8 dengan persentase 80,99% nilai tersebut termasuk kategori layak (L).

C. Kajian Produk

Hasil produk dari pengembangan media pembelajaran *inverse kinematic* berupa robot berkaki yang memiliki 6 kaki dan tersusun dari 3 *degree of freedom* (DOF) pada setiap kaki. Pengembangan media pembelajaran ini menggunakan model penelitian ADDIE. Media pembelajaran *inverse kinematic* ini tersusun dari beberapa komponen utama yaitu servo Hitec sebagai aktuator robot, *Servo*

Sequencer Controller 32 (SSC-32) sebagai *slave*, STM32 Nucleo-L432KC sebagai master dan LCD 16x2 untuk menampilkan data dan menu pengaturan. Media pembelajaran ini sudah melalui beberapa tahap pengujian, yaitu uji *black box*, uji validasi materi dan media oleh beberapa ahli dan uji pengguna.

Uji *black box* digunakan untuk mengetahui untuk mengetahui fungsi dari setiap masukan dan keluaran media pembelajaran yang telah dihasilkan. Pengujian *black box* dimulai dari pengujian perangkat masukan berupa 6 buah tombol pengaturan yang digunakan untuk memilih menu yang akan digunakan. Tombol “ \uparrow ” digunakan untuk mengeser kursor keatas, tombol “ \downarrow ” digunakan untuk mengeser kursor kebawah, tombol “BACK” digunakan untuk kembali ke menu sebelumnya, tombol “OK” digunakan untuk memilih menu, tombol “+” dan “-“ digunakan untuk menambah/mengurangi nilai variabel pada menu “setting”.

Menu “setting” digunakan untuk mengatur nilai koordinat w , x , y , z , kecepatan, dan *time SSC* yang akan digunakan. Menu “Run Program” digunakan untuk menjalankan program sesuai dengan nilai yang telah diatur. Jika w bernilai positif maka robot akan berputar ke kiri, sedangkan jika w bernilai negatif maka robot akan berputar ke kanan. Jika x bernilai positif maka robot akan bergerak ke kanan, sedangkan jika x bernilai negatif maka robot akan bergerak ke arah kiri. Jika y bernilai positif maka semakin tinggi kaki robot terangkat, sedangkan jika y bernilai negatif maka kaki robot akan mendorong ke bawah. Jika z bernilai positif maka robot akan bergerak maju, sedangkan jika z bernilai negatif maka robot akan bergerak mundur.

D. Pembahasan Hasil Penelitian

Pembahasan hasil penelitian bertujuan untuk menjawab beberapa tujuan penelitian berdasarkan data yang diperoleh. Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu:

- 1. Mendapatkan desain media pembelajaran *inverse kinematic* pada robot *hexapod*.**

Desain media pembelajaran *inverse kinematic* secara terperinci dibahas pada bagian pengembangan. Secara keseluruhan desain media *inverse kinematic* berupa robot berkaki yang memiliki 6 kaki dan tersusun dari 3 DOF di setiap kakinya. Robot terbagi menjadi 2 blok, yaitu blok sistem dan blok servo. Blok sistem merupakan *controller master* yang berfungsi sebagai pengolah data dan algoritma utama dan blok servo merupakan *controller slave* yang berfungsi sebagai *controller* servo. Pembuatan media berbentuk robot secara utuh bertujuan agar peserta didik mengapatkan pengalaman langsung dalam menerapkan *inverse kinematic* pada proses pembelajaran.

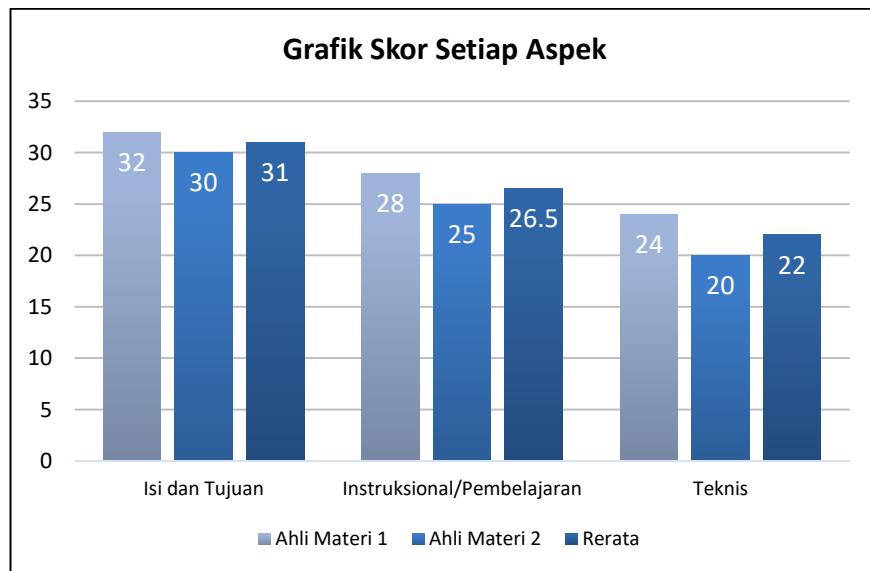
- 2. Mengetahui unjuk kerja media pembelajaran *inverse kinematic* pada robot *hexapod*.**

Pengujian unjuk kerja media pembelajaran *inverse kinematic* dilakukan dalam dua tahap, yaitu uji coba oleh peneliti dan pengujian *black box*. Uji coba yang dilakukan oleh peneliti mulai dari pengujian sumber tegangan pada blok sistem dan servo hingga pengujian sesuai dengan pengamatan yang dilakukan dalam *jobsheet*. Pengujian yang terdapat dalam *jobsheet* tersebut terdiri dari (1) kalibrasi servo, (2) pengaruh nilai x , y , dan z , (3) kendali seluruh kaki robot, dan

(4) pergerakan robot. Persentase *error* gerak setiap kaki robot terhadap sumbu *x* sebesar 7,4%, *y* sebesar 11,67%, dan *z* sebesar 7,87% disajikan dalam tabel 38, menghasilkan 14 jenis pergerakan disajikan dalam tabel 43 dan hasil pengujian *black box* pada tabel 16 mendapatkan persentase 100% dari empat responden yang terdiri dari satu dosen ahli media dan tiga mahasiswa sehingga unjuk kerja media pembelajaran *inverse kinematic* termasuk kategori sangat layak.

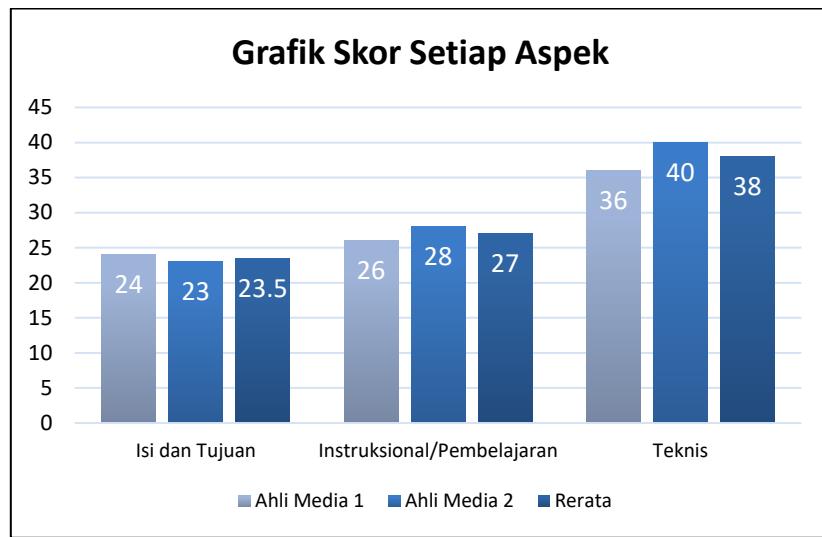
3. Mengetahui tingkat kelayakan media pembelajaran *inverse kinematic* pada robot *hexapod*.

Penilaian tingkat kelayakan media pembelajaran *inverse kinematic* dilakukan oleh dua dosen ahli materi, dua dosen ahli media, dan 20 mahasiswa.



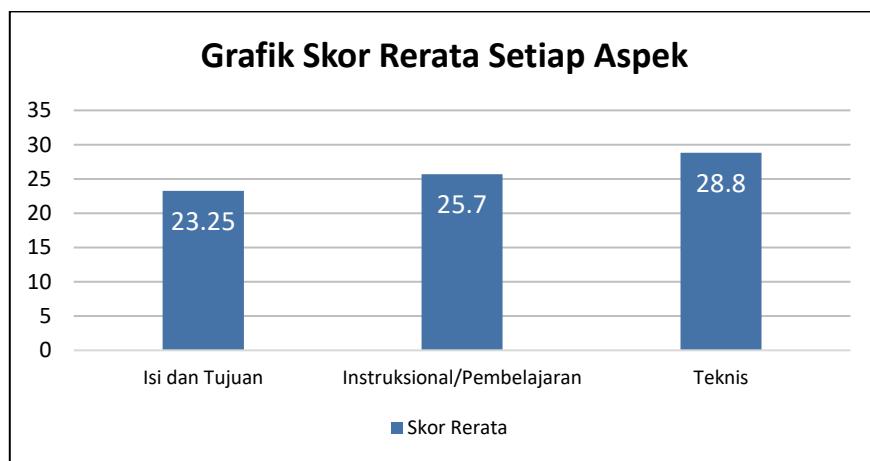
Gambar 43. Grafik Skor Kelayakan oleh Ahli Materi

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan materi ditinjau dari aspek penilaian yang meliputi aspek isi dan tujuan, aspek pembelajaran dan aspek teknis pada tabel 54 memperoleh skor rerata 79,5 dari skor maksimal 84 dengan persentase 94,64% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak.



Gambar 44. Grafik Skor Kelayakan oleh Ahli Media

Berdasarkan hasil penilaian kelayakan media ditinjau dari aspek penilaian yang meliputi aspek isi dan tujuan, aspek pembelajaran dan aspek teknis pada tabel 62 memperoleh skor rerata 88,5 dari skor maksimal 92 dengan persentase 96,2% nilai tersebut termasuk kategori sangat layak.



Gambar 45. Grafik Skor Kelayakan oleh Pengguna

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 66, tingkat kelayakan media pembelajaran memperoleh skor rerata 77,8 dari skor maksimal 96 dengan persentase 80,99% nilai tersebut termasuk kategori layak.