

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Media Pembelajaran

a. Pengertian Media Pembelajaran

Media pembelajaran adalah segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyalurkan pesan dari pengirim kepada penerima sehingga dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian dan minat serta perhatian siswa sedemikian rupa sehingga proses belajar terjadi (Sadiman, 2014: 6) . Sedangkan menurut Daryanto batasan media pendidikan yakni media yang digunakan sebagai alat dan bahan kegiatan pembelajaran (Daryanto, 2010: 6). Berdasarkan pendapat para ahli dapat disimpulkan untuk mencapai tujuan pembelajaran dapat dengan cara menarik perhatian peserta didik dalam proses belajar. Menarik perhatian peserta didik dalam proses belajar dapat menggunakan media pembelajaran yang berbentuk alat, agar dapat menyalurkan pesan dari pengirim kepada penerima dengan cara merangsang pikiran, perasaan, perhatian dan minat serta kemauan peserta didik.

b. Manfaat Media Pembelajaran

Media pembelajaran dapat mendukung kegiatan belajar mengajar guna mencapai tujuan pembelajaran dalam proses belajar. Secara umum menurut Sadiman (2014: 16-17) penggunaan media pembelajaran memiliki beberapa manfaat di antaranya sebagai berikut:

- 1) Media pembelajaran dapat memperjelas dalam penyajian pesan kepada peserta didik (tidak terlalu verbalistis).

- 2) Media pembelajaran dapat mengatasi keterbatasan ruang, waktu dan daya indera manusia, seperti :
 - a) Objek yang akan dipelajari terlalu besar atau terlalu kecil.
 - b) Gerak yang terlalu cepat atau gerak yang terlalu lambat.
 - c) Kejadian yang tidak dapat diulang lagi atau terjadi di masa lalu.
 - d) Objek yang terlalu kompleks dan tidak memungkinkan.
 - e) Konsep yang terlalu luas untuk peserta didik.
- 3) Mengatasi permasalahan sikap peserta didik
 - a) Media pembelajaran dapat menimbulkan gairah belajar peserta didik dan menghilangkan sikap pasif di dalam kelas.
 - b) Memungkinkan dapat terjadinya interaksi secara langsung dan efisien.
 - c) Memungkinkan peserta didik dapat belajar secara mandiri melalui media pembelajaran.
- 4) Membuat setara antara posisi siswa dengan kurikulum dan materi pendidikan, yaitu:
 - a) Memberikan rangsangan yang sama kepada peserta didik
 - b) Menyamakan pengalaman peserta didik
 - c) Menimbulkan persepsi yang sama pada peserta didik

Menurut ahli dalam media pembelajaran lainnya seperti Sudjana dan Rivai (2002: 2) turut mengemukakan bahwa media pembelajaran dapat meningkatkan hasil belajar yang dicapai. Pendapat tersebut dapat disebabkan karena beberapa hal sebagai berikut :

- 1) Proses pembelajaran dapat menjadi lebih menarik perhatian peserta didik sehingga dapat meningkatkan motivasi belajar peserta didik.
- 2) Bahan proses pembelajaran dapat lebih jelas maknanya serta tujuannya sehingga dapat dengan mudah dipahami oleh peserta didik.
- 3) Metode pembelajaran lebih bervariasi dan lebih menekankan pada pembelajaran yang terpusat pada siswa.
- 4) Siswa akan lebih aktif dalam proses pembelajaran, seperti mengamati, melakukan, praktik dan lain-lain

Berdasarkan beberapa pendapat para ahli media pembelajaran, maka dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran dapat meningkatkan dan mendukung proses kegiatan belajar mengajar peserta didik.

c. Pemilihan Media Pembelajaran

Dalam pemilihan media pembelajaran perlu memperhatikan kriteria-kriteria sebagai berikut (Sudjana & Rivai, 2002: 4-5) :

- 1) Ketepatan dengan tujuan pengajaran, artinya media pengajaran dipilih atas dasar tujuan-tujuan instruksional yang memiliki unsur pemahaman, aplikasi, analisis, dan sintesis agar lebih memungkinkan untuk digunakannya media pembelajaran.
- 2) Dukungan terhadap isi bahan pelajaran, artinya bahan pengajaran bersifat fakta, prinsip, konsep dan generalisasi memerlukan bantuan menggunakan media agar dapat lebih mudah dipahami oleh siswa.
- 3) Kemudahan dalam memperoleh media, artinya media yang dibutuhkan mudah untuk diperoleh dan setidaknya mudah dibuat oleh guru pada waktu mengajar.

- 4) Keterampilan pendidik dalam menggunakannya, artinya apapun jenis medianya syarat utamanya adalah guru dapat menggunakan dalam proses pembelajaran.
- 5) Tersedia waktu untuk menggunakannya, artinya dengan tersedianya waktu untuk menggunakannya sehingga media tersebut dapat bermanfaat bagi siswa selama pengajaran.
- 6) Sesuai dengan taraf berpikir siswa, artinya dalam pemilihan media untuk pengajaran harus sesuai dengan taraf berpikir siswa dan dapat dipahami oleh para siswa.

d. Klasifikasi Media Pembelajaran

Pada penelitian ini menggunakan dua jenis media pokok yaitu media pembelajaran dan modul pembelajaran.

1) Media Pembelajaran

Menurut Anderson(1987: 183), ”obyek yang sesungguhnya atau benda model yang mirip sekali dengan benda yang sesungguhnya akan memberikan rangsangan yang amat penting bagi siswa dalam mempelajari tugas yang menyangkut keterampilan psikomotorik”. Jadi media pembelajaran adalah tiruan obyek yang sesungguhnya atau model yang mirip dengan benda sesungguhnya yang dapat membantu melatih kemampuan psikomotorik dalam proses pada proses pembelajaran. Menurut Anderson(1987: 185) menyebutkan ada tiga teknik latihan dalam menggunakan media pembelajaran :

a) Latihan simulasi

Peserta didik dapat bekerja dengan tiruan dari alat atau mesin yang meniru dalam lingkungan dengan situasi kerja nyata.

b) Latihan menggunakan alat

Peserta didik dapat bekerja dengan alat atau benda yang sebenarnya akan tetapi tidak dalam lingkungan yang nyata.

c) Latihan kerja

Peserta didik dapat bekerja dengan objek-objek kerja yang sebelumnya di dalam lingkungan kerja yang nyata.

2) Modul Pembelajaran

“Modul pembelajaran” memiliki istilah bagi kebanyakan orang, berarti bahan bacaan yang diproduksi secara professional, seperti buku, majalah, dan buku petunjuk. Bahan-bahan tersebut banyak digunakan dalam bidang pendidikan dan latihan (Anderson, 1987: 163). Modul menjelaskan langkah-langkah dalam melakukan praktikum menggunakan media pembelajaran tersebut agar dapat berjalan sesuai dengan tujuan dan tidak terjadi kesalahan ketika melakukan praktikum (Wulandari, Suparman, Santoso, & Muslikhin, 2015: 383).

Penelitian ini menghasilkan media cetak berupa modul praktikum yang terdiri dari *jobsheet* praktikum untuk membantu kegiatan belajar mengajar. *Jobsheet* praktikum yang digunakan dalam praktik merupakan lembar kerja yang berisi topik praktik dan langkah kerja dalam menggunakan media pembelajaran.

3) Pengembangan Media Pembelajaran

Pengembangan media pembelajaran pada penelitian ini berupa media pembelajaran dan *jobsheet* praktikum. Media pembelajaran berisi objek dalam mempelajari kontrol *CNC* dan *actuator CNC* dengan menggunakan *inverse kinematic* yang dilengkapi dengan *jobsheet* praktikum. *Jobsheet* praktikum adalah media cetak yang dapat berfungsi memandu pengguna dalam pengoperasian *CNC Drawing Robot*. Pada penelitian ini bertujuan untuk merancang media pembelajaran *inverse kinematik* pada *CNC* dan *actuator CNC*, mengimplementasikan rancangan media pembelajaran *inverse kinematik* pada *CNC* dan *actuator CNC* dan mengetahui tingkat kelayakan media pembelajaran *inverse kinematik* pada *CNC* dan *actuator CNC*.

2. Computer Numerical Control (CNC)

Sistem *CNC* pada awalnya menggunakan jenis perangkat keras (*hardware*) *NC*, dan komputer yang digunakan sebagai alat penghitungan kompensasi dan terkadang sebagai alat untuk mengedit (Sumbodo & dkk, 2008: 402-403). *CNC* singkatan dari *Computer Numerically Controlled* merupakan mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem kontrol berbasis komputer yang mampu membaca instruksi kode N dan G yang mengatur kerja sistem peralatan mesinnya, yakni sebuah alat mekanik bertenaga mesin yang digunakan untuk membuat komponen/benda kerja (Sumbodo & dkk, 2008: 402). Gambar 1 merupakan contoh dari mesin *CNC 2 axis*.



Gambar 1. CNC 2A (two axis)

Arti nama *CNC* adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa pemrograman numerik (angka dan huruf) sebagai perintah gerakan (Salam, 2014: 6). Mesin *CNC* tingkat dasar yang ada pada saat ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu mesin *CNC 2A (two axis)* atau yang lebih dikenal dengan mesin bubut (*lathe machine*) dan mesin *CNC 3A (three axis)* atau yang lebih dikenal dengan mesin frais (*milling machine*). Gambar 3 merupakan contoh dari mesin *CNC 3 axis*.



Gambar 2. CNC 3A (three axis)

3. GRBL

GRBL adalah sebuah *software open source* yang digunakan untuk mengatur gerakan dari mesin *CNC* dan berjalan di *platform* arduino. Kebanyakan mesin 3D

printer yang *open source* menggunakan Grbl sebagai intinya dan banyak juga diadaptasi pada proyek lainnya seperti *laser cutters*, *automatic hand writer* dan lain sebagainya (Anonim, 2019). Grbl didesain untuk mengoptimalkan pembacaan perintah secara terus menerus G-Code dengan menggunakan arduino dengan ketepatan operasi. G-code adalah kode perintah eksekusi pergerakan dari mesin CNC. Untuk saat ini Grbl hanya bisa digunakan untuk mesin 3 axis yaitu X, Y, dan Z. Logo dari GRBL dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Logo GRBL

Pada Grbl fungsi pembacaan perintah dari G-Code dibatasi dan hanya beberapa G-Code dasar saja yang dapat digunakan karena untuk menjaga *software* Grbl berjalan dengan lancar dan tetap stabil pada arduino. Perintah G-code akan didapat dari komunikasi serial yang ada pada arduino dan biasanya menggunakan *software* pengirim perintah dari komputer. Perintah-perintah G-code dasar yang bisa digunakan pada Grbl terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. G-Code Dasar pada Grbl

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

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

`G00 X5 Y3 Z0.5`(1)

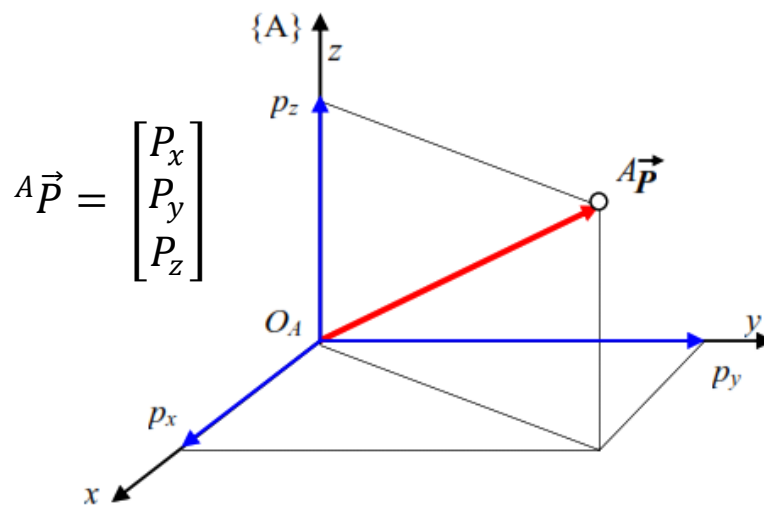
Berdasarkan contoh kode (1) memiliki keterangan perintah G-code memiliki arti bergerak linier ke koordinat X yaitu 5mm, koordinat Y yaitu 3mm, dan koordinat Z yaitu 0,5mm. Dengan perintah G00 memberikan perintah mesin untuk bergerak secara linier ke koordinat masing-masing X, Y dan Z. Satuan ukuran yang digunakan sebelumnya harus didefinisikan terlebih dahulu dengan perintah G21 yang memberikan parameter ukuran yang digunakan oleh mesin adalah menggunakan unit milimeter.

4. *Drawing Robot*

Drawing robot terdiri dari dua buah kata yaitu “*drawing*” dan “*robot*”. *Drawing* yang berasal dari Bahasa Inggris yang berarti menggambar. Sedangkan robot yang memiliki definisi alat berupa orang-orangan dan sebagainya yang dapat bergerak (berbuat seperti manusia) yang dikendalikan oleh mesin. Sehingga *Drawing Robot* merupakan alat yang dapat bergerak untuk menggambar dan dikendalikan oleh mesin. Alat yang digerakan berupa alat mekanik yang dapat bergerak dengan derajat kebebasan sesuai dengan yang dibutuhkan sesuai dengan tujuan dibuatnya robot. Pengendalian robot dapat dilakukan dengan perintah manusia secara langsung maupun sesuai dengan program yang telah didefinisikan terlebih dahulu.

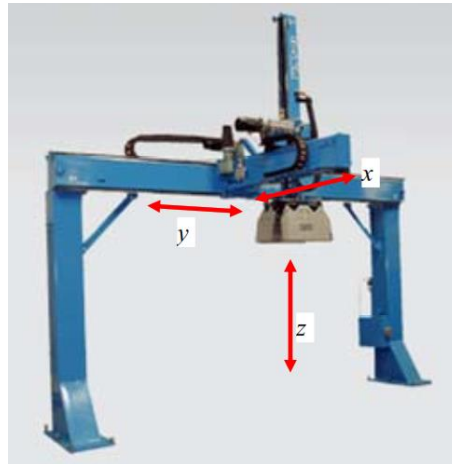
5. Kinematika CNC Drawing Robot

Kinematika adalah sebuah ilmu yang mempelajari tentang analisa gerak. Kinematika dalam sebuah robot adalah suatu pernyataan yang mendeskripsikan struktural sebuah robot dalam bentuk matematik geometri (Pitowarno, 2006). Pada *drawing* robot akan memiliki 3 buah sumbu sehingga memiliki 3 derajat kebebasan atau *degree of freedom (dof)*. Dimana cara kerja dari *CNC drawing* robot menggunakan ruang kerja kartesius (*cartesian space*) yang dapat dilihat pada gambar 4. Lokasi dari titik pada koordinat kartesius ditentukan dari vector ${}^A\vec{P}$, dimana didapat dari proyeksi titik dan garis sumbu x, y, dan z. Pada proyeksi P_x, P_y dan P_z dapat dianggap sebagai tiga sumbu vektor.



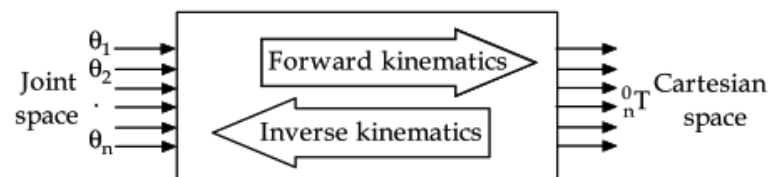
Gambar 4. Posisi vektor dari titik dalam koodinat Kartesius

Alat penggerak yang bekerja dengan koordinat kartesius seperti pada gambar 5 menggunakan tiga buah penghubung dengan gerakan translasi linear dan lebih sering dikenal dengan *Gantry Robot*. Kinematika pada koordinat kartesius ini dapat dengan mudah diselesaikan karena setiap arah dari sumbu penggerak dapat ditentukan arah gerakan dari setiap sumbu yang dibutuhkan. (Anonim, 2019: 51)



Gambar 5. Penggerak pada Sistem Koordinat Kartesius

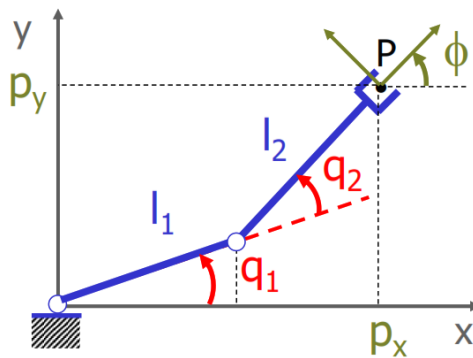
Kinematika robot dibagi menjadi dua yaitu *forward kinematic* dan *inverse kinematic* seperti digambarkan pada gambar 6. Keduanya memiliki fungsi yang berkebalikan. Forward kinematik memiliki perhitungan yang lebih sederhana karena tidak memiliki persamaan rumus yang rumit. Sedangkan inverse kinematik memiliki persamaan rumus yang lebih rumit dan lebih sulit dibandingkan dengan forward kinematics. Penyelesaian masalah inverse kinematics membutuhkan perhitungan yang lebih rumit dan biasanya membutuhkan waktu yang lebih lama dalam kontroler melakukan perhitungan lalu mengendalikan penggerak secara *real-time*. Karenanya untuk kasus yang sederhana dari kinematik penggerak sederhana (penggerak dengan euler wrist) memiliki analisa perhitungan yang lengkap (Kucuk & Bingul, 2006).



Gambar 6. Skema penggambaran dari *forward* dan *inverse kinematics*

a. *Forward Kinematics*

Analisa matematis yang digunakan untuk menghitung posisi dan orientasi ujung lengan (*end-effector*) robot berdasarkan nilai sudut setiap joint disebut dengan forward kinematic (Kucuk & Bingul, 2006). Sehingga dengan menggunakan analisa forward kinematic kita dapat menentukan posisi dan orientasi ujung lengan (*end-effector*) sebuah robot apabila diketahui posisi sudut lengan suatu robot.



Gambar 7. Penggambaran Sendi pada Lengan Robot 2 DOF

Berdasarkan gambar 7 , penggambaran sendi lengan robot 2 DOF memiliki perhitungan sebagai berikut.

$$p_x = l_1 \cos q_1 + l_2 \cos (q_1 + q_2) \dots\dots\dots (2)$$

$$p_y = l_1 \sin q_1 + l_2 \sin (q_1 + q_2) \dots\dots\dots (3)$$

$$\theta = q_1 + q_2 \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

- P_x : Posisi pada sumbu X
- P_y : Posisi pada sumbu Y
- l_1 : Panjang lengan 1
- l_2 : Panjang lengan 2
- q_1 : Besar sudut pada lengan 1
- q_2 : Besar sudut pada lengan 2

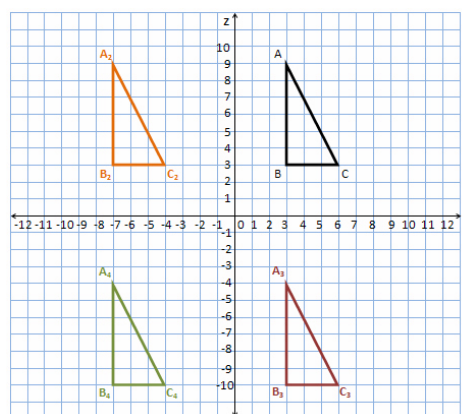
b. *Inverse Kinematics*

Sedangkan *inverse kinematic* merupakan sebuah analisa matematis yang digunakan untuk mengubah besaran kartesian pada ujung lengan (*end-effector*) menjadi besaran setiap sendi lengan robot.

Cara paling dasar untuk menyelesaikan persamaan kinematika yaitu menggunakan persamaan trigonometri (Pitowarno, 2006). Dengan menggunakan persamaan trigonometri maka nilai pergeseran dari setiap sumbu akan diketahui hanya dengan memasukan nilai koordinat ujung lengan (*end-effector*).

Analisa *inverse* kinematik sering dimanfaatkan untuk menyelesaikan sebuah permasalahan pada penggerak robot. Karena dengan menggunakan *inverse* kinematik hanya membutuhkan nilai koordinat dari ujung lengan (*end-effector*). Selain menggunakan persamaan trigonometri, penyelesaian analisis *inverse* kinematik pada juga membutuhkan transformasi geometri translasi.

Transformasi translasi/ pergeseran merupakan sebuah perubahan posisi suatu bangun pada koordinat kartesian. Perubahan yang dilakukan hanya mengubah posisi dan tidak mengubah ukuran maupun bentuk bangun ruang. Gambar 8 merupakan contoh translasi segitiga siku-siku (hitam) pada koordinat kartesian



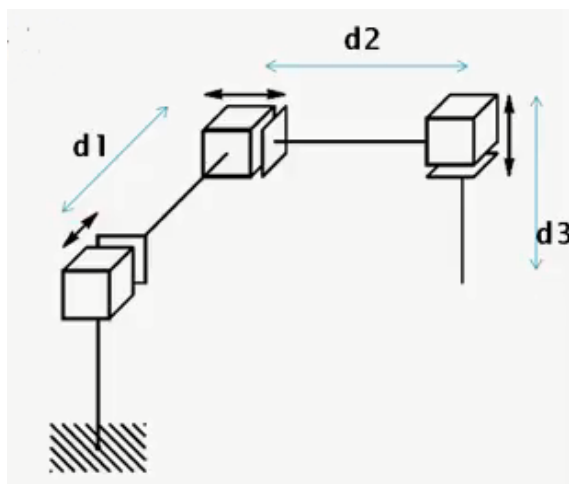
Gambar 8. Translasi Segitiga

Segitiga hitam terletak di kuadran I dengan koordinat A(3,9); B(3,3); C(6,3). Segitiga tersebut di translasikan ke kuadran II sehingga koordinat berubah menjadi A2(-7,9); B2(-7,3); C2(-4,3). Besarnya pergeseran segitiga hitam terhadap sumbu x dan z sebesar (-10,0). Pergeseran dari kuadran I ke kuadran III terhadap sumbu x dan z sebesar (-10,-13) sehingga koordinat segitiga menjadi A4(-4-7); B3(-7,-10); C3(-4,-10), dan pergeseran dari kuadran I ke kuadran IV terhadap sumbu x dan z sebesar (-13,0) sehingga koordinat segitiga menjadi A3(3,-4); B3(3,-10); C3(6,-10). Rumus translasi secara notasi dituliskan pada persamaan (5):

$$P(x, z) \xrightarrow{T=(a,b)} P'(x + a, z + b) \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- P = posisi awal
- P' = posisi tujuan
- a = nilai pergeseran horisontal (+ ke kanan, - ke kiri)
- b = nilai pergeseran vertikal (+ ke atas, - ke bawah)



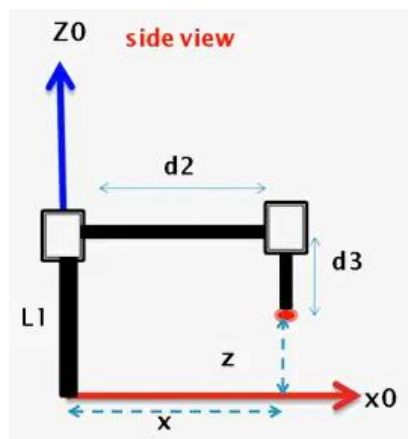
Gambar 9. Gambaran Sendi Robot Kartesian

Pada gambar 9, sendi robot kartesian memiliki pergerakan tranlasi (*prismatic joint*) yang bergerak secara linier dan bukan berputar. Sehingga perhitungan kinematika yang digunakan menjadi sederhana karena setiap pergerakan sumbunya memiliki penggeraknya sendiri seperti penggerak pada sumbu X maka hanya akan mempengaruhi *end-effector* pada sumbu X saja. Penggerak pada sumbu Y hanya akan mempengaruhi *end-effector* pada sumbu Y saja. Dan penggerak pada sumbu Z hanya akan mempengaruhi *end-effector* pada sumbu Z saja. Pada gambar 9 tergambarakan tiga buah *joint* (sendi) dimana d1 menggambarkan pergerakan dari sumbu Y, d2 menggambarkan pergerakan dari sumbu X dan d3 menggambarkan pergerakan dari sumbu Z.

$$joints [1] = pos \rightarrow tran.Y \dots\dots\dots (6)$$

$$joints [2] = pos \rightarrow tran.X \dots\dots\dots (7)$$

$$joints [3] = pos \rightarrow tran.Z \dots\dots\dots (8)$$



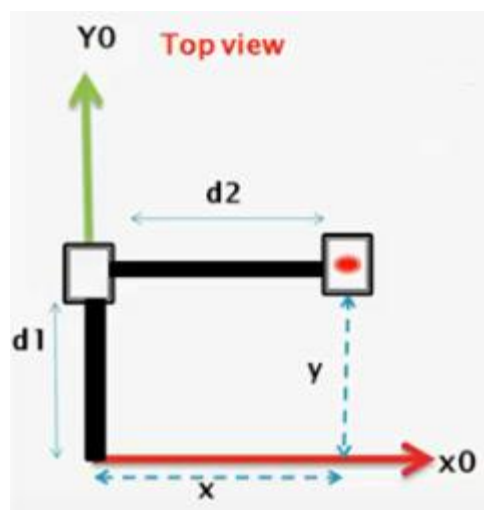
Gambar 10. Gambaran Sendi Robot Kartesian (*side view*)

Pada gambar 10, sendi robot kartesian (*side view*) menggambarkan sendi dari robot kartesian dari sudut pandang samping. L1 menggambarkan tinggi total

dari robot kartesian, $d2$ menggambarkan jarak pergerakan dari sumbu X dan $d3$ menggambarkan jarak pergerakan dari sumbu Z. Dengan diketahui pernyataan sebagai berikut maka didapat persamaan.

$$d2 = x \dots\dots\dots(9)$$

$$d3 = L1 - d3 \dots\dots\dots(10)$$



Gambar 11. Gambaran Sendi Robot Kartesian (*top view*)

Pada gambar 11 menggambarkan sendi dari robot katresian dari sudut pandang atas. Variabel $d1$ menggambarkan jarak pergerakan dari sumbu Y dan $d2$ menggambarkan jarak pergerakan dari sumbu X. Dengan diketahui pernyataan sebagai berikut maka didapat persamaan.

$$d2 = x \dots\dots\dots(11)$$

$$d3 = y \dots\dots\dots(12)$$

6. Actuator CNC Drawing Robot

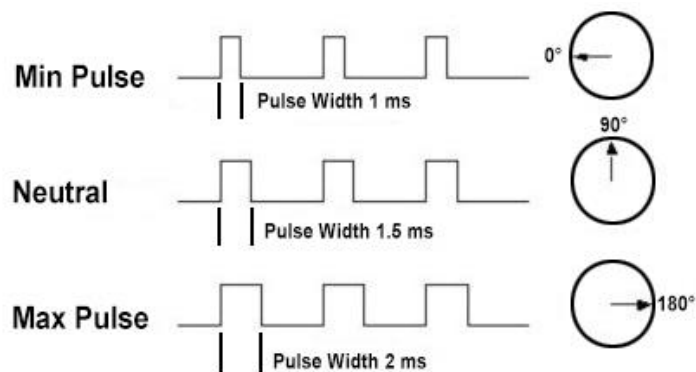
Actuator pada media pembelajaran ini memiliki batasan spesifikasi yang digunakan meliputi motor stepper dan servo. Dimana pada sumbu X dan sumbu Y digerakan menggunakan motor stepper sedangkan pada sumbu Z menggunakan motor servo untuk menggerakkan alat tulis *drawing pen*.

a. Motor Servo



Gambar 12. Motor Servo Tower Pro SG90

Gambar 12 merupakan gambar dari motor servo dengan merk dan tipe Tower Pro SG90 salah satu jenis motor servo yang memiliki batas putaran maksimal 180 derajat (Pinckney, 2006). Teknik pengendalian motor servo menggunakan PWM dengan memanfaatkan lebar pulsa. Gambar 13 menunjukkan pengkondisian sinyal pada motor servo.



Gambar 13. Sinyal Kendali Motor Servo

Untuk menggerakkan motor servo ke kanan atau kiri tergantung pada delay ketika sinyal PWM kondisi *high*. Misalkan untuk membuat servo pada posisi *center* atau tengah memberikan delay 1,5 ms pada periode *pulse width modulation* 20 ms (Sujarwata, 2013).

b. Motor Stepper

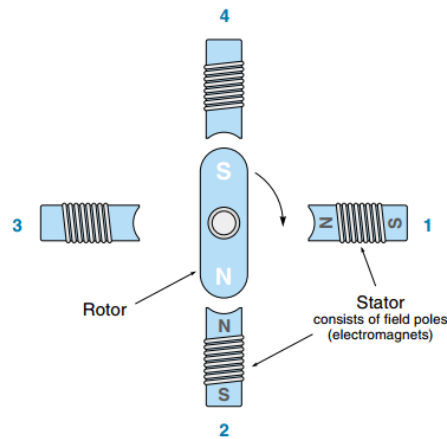
Motor stepper adalah alat yang mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor *discret* (berlainan) yang disebut *step* (langkah). Satu putaran motor memerlukan 360 derajat dengan jumlah langkah yang tertentu perderjatnya. Ukuran kerja dari motor stepper biasanya diberikan dalam jumlah *step* per-putaran per-detik. Motor stepper mempunyai kecepatan dan torsi yang rendah namun memiliki kontrol gerakan posisi yang cermat, hal ini dikarenakan motor stepper memiliki beberapa segment kutub kumparan. Motor ini sering digunakan sebagai *actuator* lengan robot, gerak linier *plotter*. Gambar dari motor stepper terlihat pada gambar 14.



Gambar 14. Motor Stepper Nema 17

Pada dasarnya struktur motor stepper memiliki rotor dan stator seperti pada gambar 15. Rotor merupakan magnet tetap dan stator merupakan penghasil *elektromagnet* / medan magnet. Jika setiap medan magnet diberi tegangan dari

satu medan magnet ke yang lainnya secara memutar, maka rotor akan berputar penuh (Killian, 2000).



Gambar 15. Struktur Motor Stepper

Pada dasarnya ada dua jenis motor stepper yaitu *bipolar* dan *unipolar*, sebuah motor stepper berputar 1 *step* apabila terjadi perubahan arus pada setiap lilitannya, mengubah kutub-kutub magnetik disekitar kutub stator. Kelemahan jenis *bipolar* adalah rangkaian drivernya lebih kompleks, karena harus dapat menglirkan arus dalam dua arah melalui koil yang sama. Sedangkan jenis *unipolar* selain motor stepper tersebut lebih mudah diperoleh di pasaran juga memerlukan rangkaian driver yang lebih sederhana. Proses pengendalian motor stepper *unipolar* dilakukan dengan menghubungkan kutub-kutub motor ke *ground* secara begantian. Kutub motor yang berhubungan dengan *ground* akan mengaktifkan lilitan yang bersangkutan. Jika motor stepper bergerak 1,8 derajat atau step pada mode full-stepping maka pada mode half-stepping motor dapat digerakkan sebesar 0,9 derajat atau step. Maka dengan mengaktifkan urutan yang tepat maka motor

stepper dapat bergerak secara *full stepping* maupun *half-stepping* baik searah maupun berlawanan dengan jarum jam.

Pengaturan kutub – kutub motor dan proses gerak motor stepper dapat dipahami melalui contoh Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kontrol *full-step* pada motor stepper

FULL-STEP								
	Tegangan yang diberikan pada lilitan							
	CW (Clockwise)				CCW (Counter Clockwise)			
	L3	L2	L1	L0	L3	L2	L1	L0
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0	0	1	0
3	0	0	1	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0	0

Tabel 3. Kontrol *half-step* pada motor stepper

HALF-STEP								
	Tegangan yang diberikan pada lilitan							
	CW (Clockwise)				CCW (Counter Clockwise)			
	L3	L2	L1	L0	L3	L2	L1	L0
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	1	0	0	0	0	1	1
3	0	1	0	0	0	0	1	0
4	0	1	1	0	0	1	1	0
5	0	0	1	0	0	1	0	0
6	0	0	1	1	1	1	0	0
7	0	0	0	1	1	0	0	0
8	1	0	0	1	1	0	0	1

Pada pengendalian *full-step* suatu titik magnet dirotor akan kembali mendapatkan tarikan medan magnet stator pada lilitan yang sama setelah step keempat. Pergerakan setiap *step* rotor tergantung pada spesifikasi derajat per *step* masing-masing motor. Tegangan 1 merupakan logika dalam *level Transistor Transistor Logic (TTL)*. Sedangkan pada pengendalian *half-step*, setiap kutub magnet akan kembali mendapatkan penarikan setelah *step* kedelapan dan akan memulai step satu. Setiap posisi *step* rotor berubah sebesar setengah derajat dari spesifikasi derajat per step motor stepper (Budiharto, 2014).

c. Driver Motor Stepper A4988

Driver motor stepper adalah driver motor yang dirancang khusus untuk menggerakkan motor stepper. Driver motor stepper A4988 memiliki kapasitas output tegangan maksimal 35 volt dengan arus ± 2 ampere. Berikut adalah beberapa kelebihan dari driver stepper A4988 (Allegro, 2019).

- 1) Koneksi yang mudah menggunakan 2 pin saja yaitu pin STEP dan DIR
- 2) Memiliki 5 resolusi per-*step* yaitu : *full-step*, *half-step*, *quarter-step*, *eighth-step*, dan *sixteenth-step*
- 3) Arus kontrol yang dapat diatur dimana digunakan untuk mengatur arus maksimal yang akan diberikan ke motor stepper dengan memutar trimpot pada modul driver
- 4) Terdapat pengaman *Over-Temperature thermal shutdown*, *short-to-ground* dan *shorted-load protection*, sehingga jika driver stepper A4988 terlalu panas atau terjadi konsleting listrik maka akan mati secara otomatis

- 5) Terdapat pengaman *under-voltage lockout* dan *crossover current protection* yang akan mengamankan saat tegangan sumber dibawah normal ataupun terjadi arus balik dari motor stepper.



Gambar 16. Driver Motor Stepper A4988

Pada driver motor stepper A4988 seperti gambar 16, terdapat resolusi per-*step* yang dapat diatur atau sering disebut fitur *micro-stepping*, untuk dapat memilih resolusi yang digunakan pada driver akan menggunakan pin MS1, MS2, dan MS3 pada driver stepper dengan konfigurasi seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Resolusi *Micro-Stepping* Driver Stepper A4988

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

d. Mikrokontroler Arduino UNO

Mikrokontroler merupakan salah satu instrumen elektronika yang digunakan pada sistem kendali. “Mikrokontroler merupakan suatu *chip* yang dapat diprogram untuk melakukan fungsi kendali pada suatu alat. *Chip* ini memiliki

memori di dalam tubuh yang digunakan untuk menyimpan program yang diisikan melalui PC menggunakan *port serial / parallel*” Budiharto (2014: 13). “Mikrokontroler adalah komputer yang kebanyakan *chip* pendukungnya dalam satu paket. Semua komputer memiliki beberapa bagian yaitu 1) *CPU (Central Processing Unit)*, 2) *RAM (Random Access Memory)*, 3) *ROM (Read Only Memory)*, dan 4) *I/O (Input dan Output)*.” Hal sependat juga diungkapkan oleh Suyadhi (2010: 264) menyatakan bahwa “mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu keping *IC (integrated circuit)* sehingga sering disebut mikrokomputer *chip* tunggal”. Sehingga dapat dirangkum bahwa mikrokontroler merupakan sebuah *chip* tunggal yang pada umumnya terdiri dari *CPU, RAM, ROM, dan I/O* yang digunakan pada sistem pengendali.

Arduino Uno merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang menggunakan IC Atmega328. Memiliki pin *input* atau *output* seperti 14 pin digital *input* atau *output* (6 pin dapat difungsikan sebagai *output PWM*), 6 pin analog *input*, memiliki frekuensi clock 16 Mhz. Arduino memiliki kemudahan dalam penggunaannya yaitu dengan menggunakan koneksi USB dengan komputer, untuk melakukan pemrograman pada Arduino Uno dapat menggunakan Arduino IDE. Kabel USB dapat difungsikan sebagai tegangan *input* pada Arduino Uno. Arduino UNO dapat menggunakan adaptor eksternal dengan tegangan *input* ke Arduino berupa tegangan DC dipasang pada Barrel Jack Arduino Uno.



Gambar 17. Arduino UNO

Arduino UNO memiliki banyak fungsi dan fitur yang dapat digunakan.

Berikut spesifikasi dan fitur yang terdapat pada Arduino Uno pada tabel berikut.

Tabel 5. Fitur Arduino UNO

Mikrokontroler	Atmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage(recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (dimana 6 pin sebagai PWM <i>output</i>)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3 V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (Atmega328P) dimana 0.5 KB digunakan sebagai bootloader
EEPROM	1 KB (Atmega328P)
Clock Speed	16 MHz

Menurut Wicakcono (2017: 1) kelebihan arduino adalah sebagai berikut :

- a. Harga arduino yang murah, bahkan *board* arduino dapat dibuat sendiri oleh pengguna arduino. Pengguna arduino dapat membuat *board* arduinonya sendiri

karena semua sumber daya untuk membuat arduino sendiri sudah tersedia di *website* resmi arduino dan juga tersedia di *website-website* komunitas arduino.

- b. *Cross platform, software* Arduino dapat dijalankan pada sistem operasi Windows, Macintosh OS/X dan Linux, sementara *platform* lain umumnya terbatas pada Windows.
- c. Arduino memiliki perangkat lunak yang bernama arduino IDE dan bersifat *open source*, sehingga memudahkan pemrogram berpengalaman untuk melakukan pengembangan lebih lanjut terhadap arduino. Bahasa pemrogramannya dikembangkan lebih lanjut melalui pustaka-pustaka C++ yang berbasis pada bahasa C untuk AVR. Tidak hanya itu arduino IDE juga bisa digunakan untuk windows, linux, dan mac.
- d. Perangkat keras arduino bersifat *open source* sehingga siapa saja bisa membuat perangkat keras arduino. *Bootloader* untuk membuat mikrokontroler AVR menjadi arduino juga tersedia di dalam perangkat lunak arduino IDE. *Bootloader* juga berfungsi menangani *upload* program dari komputer kedalam arduino, sehingga arduino tidak memerlukan *chip* programmer tambahan. Untuk memudahkan dalam pembuatan alat elektronika, arduino juga dilengkapi dengan modul siap pakai yang kompatibel dengan perangkat keras Arduino
- e. Arduino *board* diterbitkan dibawah lisensi *creative commons*, perancang dapat membuat modul versi mereka sendiri meliputi memperluas dan meningkatkan kemampuan dari Arduino *board*.

e. *Timing Pulley dan Timing Belt*



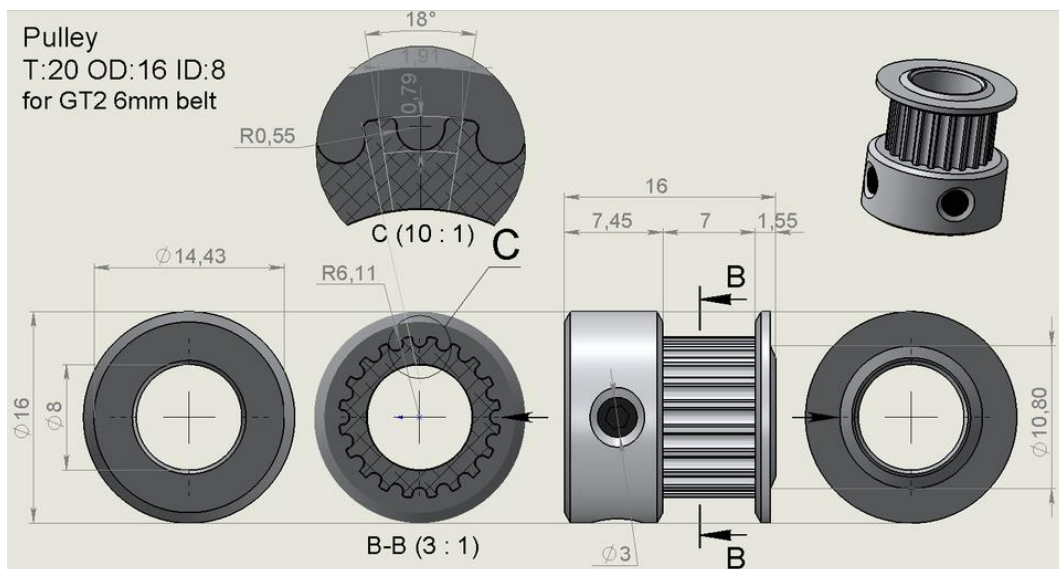
Gambar 18. *Timing Pulley*

Pulley adalah suatu elemen mesin yang berfungsi sebagai komponen atau penghubung gerakan yang diterima tenaga dari motor diteruskan dengan menggunakan belt ke benda yang keinginan digerakan. Dalam penggunaan pulley kita harus mengetahui berapa besar putaran yang akan kitagunakan serta dengan menetapkan diameter dari salah satu pulley yang kita gunakan serta dengan menetapkan diameter dari satu pulley yang kita gunakan, pulley biasanya terbuat dari besi tuang, dan alumunium (Sonawan, 2010). Pulley terdapat beberapa jenis yaitu pulley dan timing pulley, dimana perbedanyanya terdapat ada atau tidaknya gerigi pada pulley. Pulley yang memiliki gerigi dinamakan timing pulley dan akan berpasangan dengna timing belt.

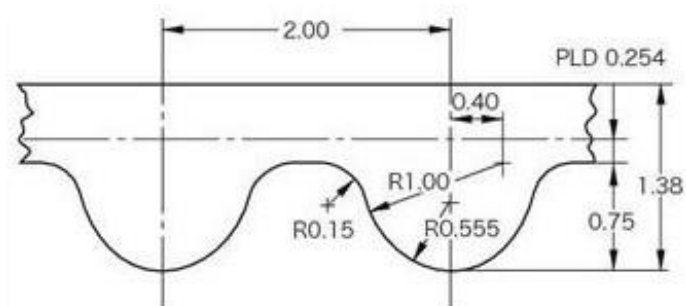


Gambar 19. *Timing Belt*

Belt merupakan suatu elemen mesin berfungsi sebagai penghantar daya atau mentransmisikan tenaga dari satu poros lain dengan menggunakan pulley yang memutar dengan kecepatan yang sama atau berbeda. *Belt* biasanya terbuat dari rayon, nylon atau katun yang diresapi dengan karet (Sonawan, 2010). *Belt* memiliki beberapa jenis ada yang polos seperti jenis *V belt* dan ada juga yang memiliki gigi seperti timing belt yang memiliki jarak ukuran antar gerigi yang disebut *pitch*.

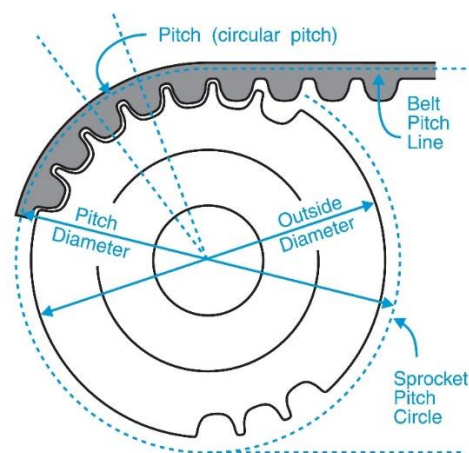


Gambar 20. Ukuran Pulley GT2-20T



Gambar 21. Ukuran Belt Pitch 2mm

Pada gambar 20 merupakan ukuran dari pulley GT2-20T yang merupakan pulley dengan spesifikasi pitch 2mm dan total gigi yang dimiliki pulley sejumlah 20 gigi. Pada gambar 21 merupakan ukuran dari belt dengan jarak pitch 2mm yang merupakan pasangan dengan pulley GT2 yang sama-sama memiliki jarak pitch sebesar 2mm. Dengan konfigurasi antara pulley dan belt dengan gigi maka akan didapatkan cengkraman gerakan yang kuat dan presisi.



Gambar 22. Konfigurasi Belt dan Pulley

Pada mekanisme pergerakan *CNC drawing* robot menggunakan *pulley* dan *belt* dimana terdapat *pulley* yang terhubung langsung dengan motor *stepper* dan *pulley* yang diam (*idler pulley*). Untuk dapat menggerakkan benda kerja yang ada pada penggerak dibutuhkan perhitungan yang sesuai sehingga didapatkan akurasi gerakan yang diharapkan. Oleh karena itu faktor-faktor seperti ukuran *pulley*, *belt* dan putaran pada motor *stepper* sangat berpengaruh satu sama lainnya. Untuk melakukan perhitungan jumlah langkah atau *step* dari motor *stepper* untuk mencapai perubahan sebesar satu milimeter dapat menggunakan rumus pada persamaan (13).

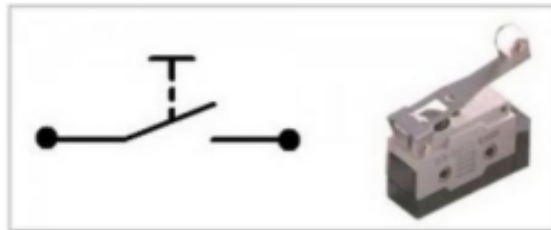
$$Steps/mm = \frac{(Steps\ per\ Revolution\ x\ Driver\ Step)}{(Belt\ Pitch\ x\ Pulley\ Number\ of\ Teeth)} \dots\dots(13)$$

Keterangan :

- Steps/mm* : Jumlah *step* pada motor stepper untuk perubahan jarak 1 mm
- Steps per Revoution : Jumlah step pada motor stepper untuk berputar 1 putaran penuh
- Driver Step : Resolusi micro-stepping yang digunakan pada driver motor stepper
- Belt Pitch : Ukuran jarak gigi pada belt
- Pulley Number of Teeth : Jumlah gigi pada pulley

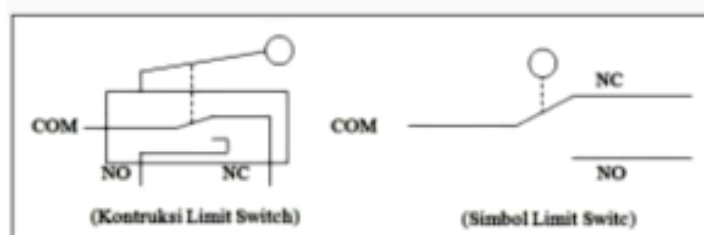
7. *Limit Switch*

Limit switch merupakan jenis saklar yang dilengkapi dengan katup yang berfungsi menggantikan tombol. Prinsip kerja Limit switch sama seperti saklar Push ON yaitu hanya akan menghubungkan pada saat katupnya ditekan pada batas penekanan tertentu yang telah di tentukan dan akan memutus saat katup tidak ditekan. Limit switch termasuk dalam kategori sensor mekanis yaitu sensor yang akan memberikan perubahan elektrik saat terjadi perubahan mekanik pada sensor tersebut. Penerapan dari limit switch adalah sebagai sensor posisi suatu benda (objek) yang bergerak.



Gambar 23. Simbol dan Bentuk *Limit Switch*

Limit switch umumnya digunakan untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian menggunakan objek atau benda lain, menghidupkan daya yang besar, dengan sarana yang kecil dan sebagai sensor posisi atau kondisi suatu objek. Prinsip kerja limit switch diaktifkan dengan penekanan pada tombolnya pada batas/daerah yang telah ditentukan sebetulnya sehingga terjadi pemutusan atau penghubungan rangkaian tersebut. Limit switch memiliki 3 kontak yaitu Common, NO (Normally Open) dan kontak NC (Normally Close) dimana salah satu kontak akan aktif jika tombolnya tertekan. Konstruksi dan symbol limit switch dapat dilihat seperti gambar 24.



Gambar 24. Konstruksi dan Simbol *Limit Switch*

8. Mata Kuliah Robotika

Mata kuliah Robotika merupakan salah satu kuliah untuk mahasiswa Program Studi Teknik Elektronika dan Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika. Mata kuliah ini menyajikan pembahasan tentang konsep dasar robotika,

analisis mekanis, perencanaan dan struktur degree of freedom dalam sebuah aplikasi robot. Lebih lanjut akan dibahas servo, visual servoing, image processing, embedded system untuk robotic, untuk melengkapi beberapa aplikasi robot mobile beroda, berkaki, humanoid dan juga aerial.

B. Penelitian yang Relevan

Hasil penelitian yang relevan sebagai pembanding penelitian ini yaitu :

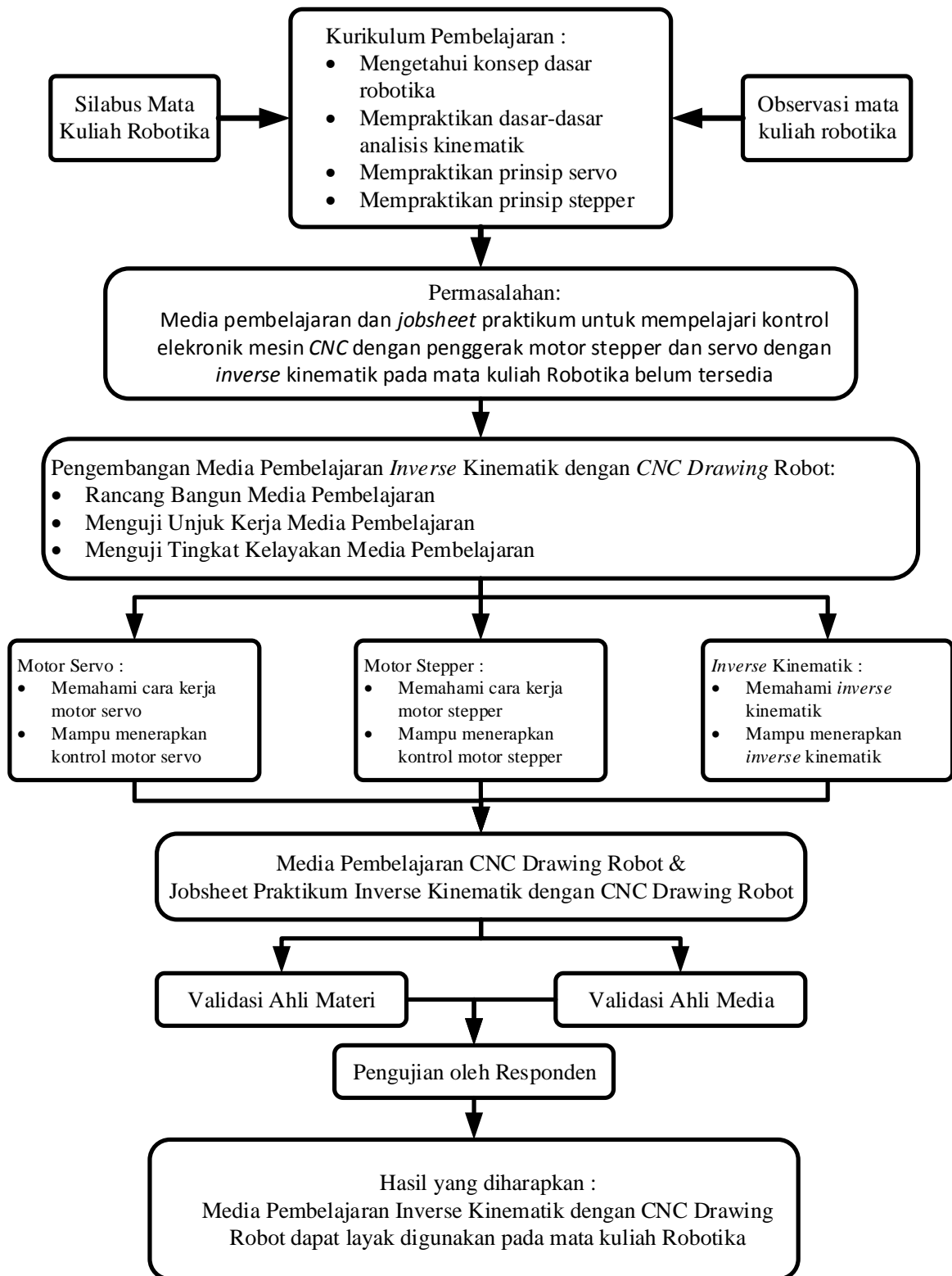
1. Penelitian yang dilakukan oleh Noviasari (2018) dengan judul “Pengembangan Trainer *Visual Servoing* sebagai Media Pembelajaran Mata Kuliah Robotika”. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rancangan, menguji untuk kerja, mengetahui tingkat kelayakan media pembelajaran Trainer *Visual Servoing*, dan menambah media pembelajaran pada mata kuliah robotika prodi Pendidikan Teknik Elektronika jurusan Pendidikan Teknik Elektronika dan Informatika FT UNY. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Research and Development* (R&D). Hasil penelitian menunjukkan hasil validasi konten dan konstruk dengan 89,48% dari ahli media dan 87,50% dari ahli materi. Hasil pengujian cobaan terhadap mahasiswa mendapatkan 85,52%.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Daniel Julianto (2017) dengan judul “Media Pembelajaran *Trainer Motor DC, Brushless, Servo dan Stepper* dengan Kendali Mikrokontroler Arduino UNO pada Mata Pelajaran Teknik Mikroprosesor di SMK Negeri 2 Depok Yogyakarta”. Penelitian ini bertujuan untuk membuat, mengetahui unjuk kerja, dan mengetahui tingkat kelayakan media pembelajaran trainer motor DC, brushless, servo, dan stepper dengan kendali Arduino Uno pada mata pelajaran Teknik Mikroprosesor di SMK

Negeri 2 Depok Yogyakarta. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Research and Development (R&D)*. Hasil penelitian menunjukkan hasil validasi konten dan konstruk dengan 84,5% dari ahli media dan 69,5% dari ahli materi. Hasil pengujian cobaan terhadap mahasiswa mendapatkan 84,99%.

3. Penelitian yang dilakukan oleh Erric Yulistyono (2016) dengan judul “Pengembangan Modul Teknik Pemesinan Frais CNC Tipe Focus Esemka VMC-L540 Sebagai Media Belajar Mandiri Siswa Kelas XII di SMK N 3 Yogyakarta”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan modul yang diterapkan di kelas XII SMK N 3 Yogyakarta, mengetahui peningkatan prestasi belajar sesudah menggunakan modul pada proses belajar mandiri teknik pemesinan frais CNC digunakan oleh siswa kelas XII SMK N 3 Yogyakarta. Hasil penelitian menunjukkan hasil validasi konten dan konstruk dengan 84,11% dari ahli media dan 83,33% dari ahli materi. Hasil uji coba skala luas mendapatkan skor total 79,47%.

C. Kerangka Berfikir

Media pembelajaran dapat membantu meningkatkan kualitas proses pembelajaran dan menghasilkan sumber daya manusia yang unggul. Proses pembelajaran yang baik dapat berlangsung apabila sarana dan prasarana tersedia dengan baik dan mengikuti perkembangan teknologi. Melihat dari permasalahan tersebut perlu adanya peningkatan media pembelajaran dalam bentuk perangkat keras. Berdasarkan hasil studi lapangan dan wawancara dengan dosen pengampu mata kuliah peneliti. Gambar 25 merupakan gambar kerangka pikir.



Gambar 25. Kerangka Pikir

D. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan kerangka pikir diatas, dapat dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana desain mekanik media pembelajaran *inverse* kinematik dengan *CNC drawing* robot?
2. Bagaimana rancangan program kontroler pada media pembelajaran *inverse* kinematik dengan *CNC drawing* robot?
3. Bagaimana unjuk kerja mekanik media pembelajaran *inverse* kinematik dengan *CNC drawing* robot?
4. Bagaimana unjuk kerja program kontroler pada media pembelajaran *inverse* kinematik dengan *CNC drawing* robot?
5. Bagaimana tingkat kelayakan media pembelajaran *inverse* kinematik dengan *CNC drawing* robot?
6. Bagaimana tingkat kelayakan materi pada media pembelajaran *inverse* kinematik dengan *CNC drawing* robot?