

Desain Robot Holonomic berbasis Roda Mecanum dengan Arm Manipulator

Budi Bayu Murti¹, Tirza Sarwono¹, Esa Apriaskar², dan Fahmizal¹

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

²Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang
Sekaran, Kec. Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah 50229
e-mail: fahmizal@ugm.ac.id

Abstrak—Sistem pergerakan robot beroda yang ada di industri umumnya menggunakan konsep *differential drive* atau *ackerman steering*. Namun, kedua metode tersebut cenderung memiliki mobilitas yang rendah. Artikel ini mencoba menawarkan suatu desain robot beroda untuk industri dengan konsep sistem *holonomic* menggunakan roda *mecanum* yang mempunyai kemampuan bermanuver ke segala arah dengan mobilitas yang lebih baik. Sebagai salah satu jenis robot yang sering digunakan di dunia industri, *arm manipulator* dikombinasikan dengan robot beroda yang didesain. Desain mekanik robot beroda dan arm manipulator dibuat dengan menggunakan *software inventor* dan memanfaatkan *acrylic* sebagai bahan dasarnya. Desain elektronis dari robot dibuat menggunakan *software Eagle*. Setelah manufaktur robot selesai, lalu dilakukan pembuatan antarmuka menggunakan *processing IDE*. Beberapa pengujian robot dilakukan untuk memastikan robot yang didesain berjalan dengan baik. Dari hasil pengujian secara fungsional, bagian-bagian dari robot dapat berjalan dengan baik. Untuk pengujian *heading* robot, galat terkecil yang didapatkan adalah 5 cm dan galat terbesar adalah 20 cm. Pengujian motor servo sebagai penggerak utama manipulator menunjukkan galat terbesar hanya 2 derajat. Selain itu, *gripper* pada *arm manipulator* juga dapat menggenggam objek dengan baik.

Kata kunci: *robot beroda, sistem holonomic, roda mecanum, arm manipulator*

Abstract—Movement systems of a mobile robot in an industry generally use the concept of differential drive or ackerman steering. However, both methods tend to have low mobility. This paper proposes an industrial mobile robot design with a holonomic concept using mecanum wheels to maneuver in all directions with better mobility. As a commonly used robot in the industrial field, an arm manipulator is combined with a mobile robot. The mobile robot and arm manipulator's mechanical design is made using software inventor and utilizing acrylic as its base material. The electronic design of the robot is created using Eagle software. After the robot manufacturing is complete, then a user interface is made using the processing IDE. Several robot tests are conducted to ensure that the designed robot runs appropriately. From the functional test results, parts of the robot can run well. The smallest error obtained is 5 cm for the robot heading test, and the most significant error is 20 cm. The testing of a servo motor, which is the arm manipulator's primary actuator, showed the highest error of only 2 degrees. Besides, the gripper of the arm manipulator can also hold objects properly.

Keywords: *mobile robot, holonomic system, mecanum wheels, arm manipulator*

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Perkembangan pada abad ke-20 ini sangat cepat khususnya pada bidang ilmu pengetahuan dan teknologi yang membawa dampak besar bagi pola kehidupan manusia. Salah satu contohnya adalah teknologi robotika. Semakin hari semakin banyak inovasi dan penemuan baru yang tercipta untuk meningkatkan pola hidup manusia. Setiap negara berlomba-lomba melakukan banyak riset untuk menemukan inovasi teknologi terbaru yang membuat pola hidup manusia semakin mudah dan efisien.

Navigasi pada robot beroda umumnya sering dijumpai menerapkan konsep *ackerman steering* [1] dan *differential*

drive [2] yang mana kedua tipe tersebut mempunyai mobilitas yang rendah. Pada kedua jenis tersebut robot dapat bergerak maju dan berbelok, tetapi tidak mampu bergerak/bermanuver ke segala arah (robot *non-holonomic*) secara langsung tanpa berbelok [3]. Oleh karena itu, dikembangkan sebuah robot yang dapat bermanuver ke segala arah pada bidang kartesian x-y tanpa perlu memutar badan dari robot tersebut (robot *holonomic*) [4]. Salah satu jenis robot yang memiliki kemampuan tersebut adalah robot dengan roda *mecanum* yang memiliki mobilitas yang tinggi [5], [6]. Dengan kemampuan bermanuver ke segala arah dengan baik, robot ini dapat melakukan tugas penting di lingkungan yang penuh sesak dengan hambatan

statis dan dinamis, seperti di pabrik [7].

Di sisi lain, penggunaan robot di dunia industri juga telah menjadi hal yang sering dijumpai. Robot lebih dipilih dari pada tenaga manusia tidak terlepas dari berbagai kelebihanannya. Salah satu kelebihan yang dimiliki adalah robot mampu melakukan pekerjaan yang dianggap berat oleh manusia sekalipun tanpa merasa lelah. Pekerjaan ini biasanya ditemui dalam bidang industri khususnya pada bagian produksi. Selain itu, perkembangan teknologi di bidang *artificial intelligence* juga memungkinkan suatu robot dapat memiliki kemampuan berfikir dan mengambil keputusan seperti halnya manusia [8]. Hal tersebut semakin meyakinkan pihak industri untuk meningkatkan pemanfaatan robot dalam proses produksi.

Salah satu robot yang cukup sering digunakan di dunia industri adalah *arm manipulator*. Robot ini merupakan jenis robot dengan kemampuan seperti lengan manusia [9]. Robot ini dipilih oleh banyak pelaku industri karena beberapa kelebihan yaitu memiliki bentuk fisik seperti halnya lengan manusia dan derajat kebebasan (*degree of freedom*) [10], sehingga mampu mengurangi jumlah operator dalam suatu proses produksi. Robot ini juga bisa menjadi alternatif untuk pekerjaan-pekerjaan dengan resiko tinggi, sehingga dapat meminimalisir kecelakaan yang berakibat pada kematian pekerja [11]. Dari sisi efisiensi proses, *arm manipulator* juga bisa digunakan sebagai aktuator untuk mengambil atau menaruh suatu objek pada sebuah sampel produk yang kompleks sehingga waktu produksi suatu barang dapat dipercepat [12].

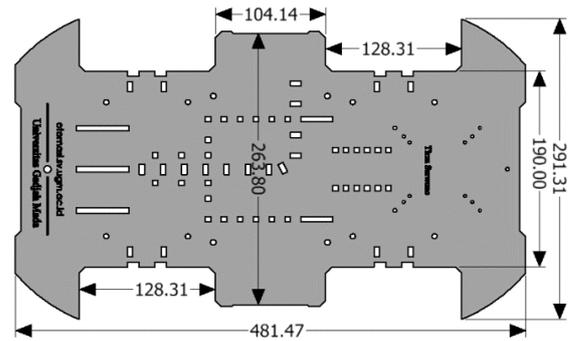
Dalam beberapa tahun terakhir berbagai teknologi *arm manipulator* telah dikembangkan. Penambahan sebuah sensor kamera merupakan salah satu pengembangan teknologi *arm manipulator*. Pengembangan tersebut membantu robot dalam proses penyeleksian produk berdasarkan warna [13]. Pengembangan lain dilakukan oleh [14] a PbD (*Programming by Demonstration* dari sisi teknik pemrograman berdasarkan demonstrasi yang memungkinkan bagi robot menyusun algoritma dengan mempelajari bagaimana operator mengerjakan suatu perintah. Di sisi lain, pengembangan teknologi *arm manipulator* juga dilakukan dengan menggabungkannya dengan robot beroda [15], [16].

Penelitian ini mengkombinasikan *arm manipulator* 4-DOF dengan sebuah robot beroda berbasis roda *mecanum* yang selanjutnya disebut robot *mecanum arm*. Penggunaan roda jenis *mecanum* pada robot tersebut dapat meningkatkan mobilitasnya menjadi lebih baik, selain juga mempunyai kemampuan layaknya lengan manusia [17]. Prototipe robot yang dibuat ini dapat dikembangkan lebih lagi untuk dunia industri sebagai robot pengangkut barang dengan kemampuan manuver yang lebih efisien.

II. DESAIN SISTEM

A. Desain Mekanik Robot Beroda

Desain robot beroda ini mempunyai tiga bagian utama yaitu desain *base* robot, pengunci motor DC, dan juga



Gambar 1. Desain base robot beroda

tempat baterai. Desain ini dibuat menggunakan *software Autodesk Inventor*. Bahan yang digunakan untuk robot ini adalah menggunakan bahan *acrylic*. Desain robot yang telah dibuat dikonversi ke dalam format dua dimensi yang selanjutnya dicetak dengan mesin *laser cutting*.

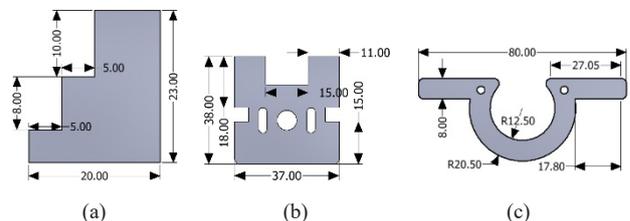
Desain *base* pada Gambar 1 digunakan sebagai alas robot secara keseluruhan. Ada tiga komponen penting yang akan diletakkan pada atas alas robot ini yaitu tempat robot *arm*, tempat elektronis, dan tempat baterai. Ketiga komponen tersebut menjadi pertimbangan untuk menentukan panjang dan lebar desain *base* tersebut.

Gambar 2a dan 2b merupakan desain pengunci yang digunakan untuk motor DC dari sisi samping dan sisi depan, sedangkan Gambar 2c dari sisi belakang. Gambar 3 menggambarkan bagian yang sudah disatukan. Konfigurasi desain tersebut mengakibatkan motor DC tidak dapat berpindah posisi dan kokoh untuk menopang beban dari keseluruhan komponen.

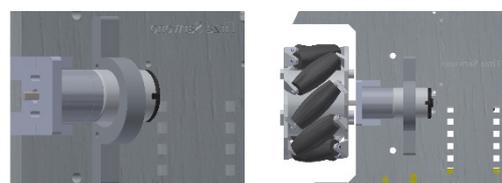
Baterai yang digunakan pada sistem robot ini adalah dua buah baterai *lithium polymer* dengan dimensi 10x2.5x2 cm, sehingga diperlukan tempat baterai untuk menampung kedua baterai tersebut sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4 dengan dimensi 14x11x4.5 cm. Tempat baterai ini diletakkan pada bagian belakang robot.

B. Desain Mekanik Arm Manipulator 4-DOF

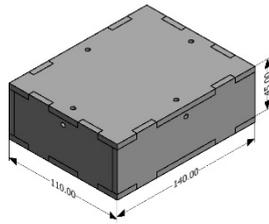
Robot *arm manipulator* yang didesain memiliki derajat



Gambar 2. Desain pengunci untuk motor DC; (a) Pengunci samping; (b) Pengunci tengah; (c) Pengunci belakang



Gambar 3. Pemasangan pengunci motor DC



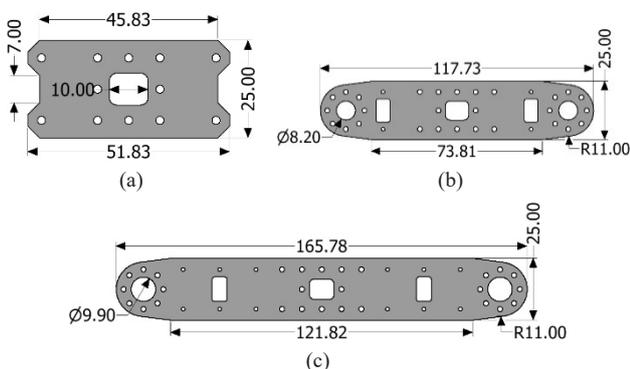
Gambar 4. Tampilan 3D desain tempat baterai



Gambar 5. Robot arm manipulator 4-DOF

kebebasan (*degree of freedom*) sebanyak 4 buah, seperti tampak pada Gambar 5. Setiap sendi menggunakan motor servo *dynamixel* sebagai aktuator yang dihubungkan dengan *bracket*. *Bracket* ini juga menghubungkan antara lengan satu dengan lainnya dengan ukuran desain seperti pada Gambar 6. Struktur dari *bracket* haruslah kuat karena digunakan untuk menyokong beban yang dibawa oleh robot. Bahan yang digunakan adalah *acrylic* yang dibengkokkan menggunakan metode *bending*.

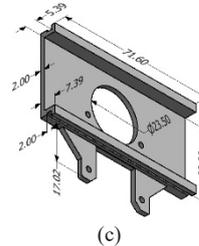
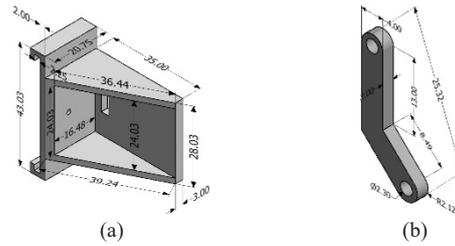
Pembengkokkan dilakukan dengan memberi panas pada tempat pembengkokkan. Setelah dipanaskan, bagian tersebut dibengkokkan dengan sudut 90° sehingga terbentuk *bracket* sesuai dengan keinginan. Untuk beberapa percobaan mengalami kegagalan yakni *bending* tidaklah 90° sehingga ukurannya tidak pas dengan dimensi servo *dynamixel*. Jadi diharuskan untuk melakukan beberapa kali percobaan sehingga ditemukan *bracket* yang pas dengan motor servo *dynamixel*. Gambar 7 merupakan



Gambar 6. Bracket; (a). F2; (b). F3, dan (c). F4



Gambar 7. Hasil bracket yang digunakan



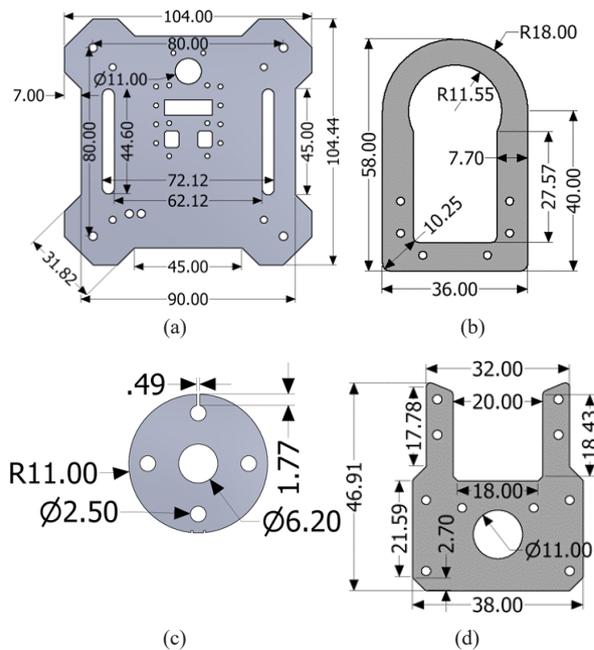
Gambar 8. (a). Gripper finger, (b). gripper lock, dan (c). parallel grip

bracket yang sudah sesuai dengan ukuran *dynamixel* dan siap untuk digunakan.

Bagian mekanik yang selanjutnya adalah *gripper*, yang berfungsi sebagai penggenggam objek dari robot *arm*. Desain yang dibuat adalah mengubah putaran dari motor servo menjadi sebuah *slider* yang dapat digunakan untuk menjepit suatu objek sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 8. Khusus untuk *gripper* didesain dengan 3D karena dicetak menggunakan 3D printer.

Alasan menggunakan 3D printer adalah desain yang dicetak tebalnya tidak memenuhi dengan tebal *acrylic* yang ada sehingga metode *bending* tidak digunakan.

Selain dua komponen utama di atas, terdapat beberapa komponen tambahan yang diperlukan dalam pembuatan robot *arm* ini. Bagian tambahan tersebut yaitu *upper deck*, *hub bearing*, *thin spacer*, dan *reverse bracket*, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. (a). Upper deck, (b). hub bearing, (c). thin spacer, dan (d). reverse bracket

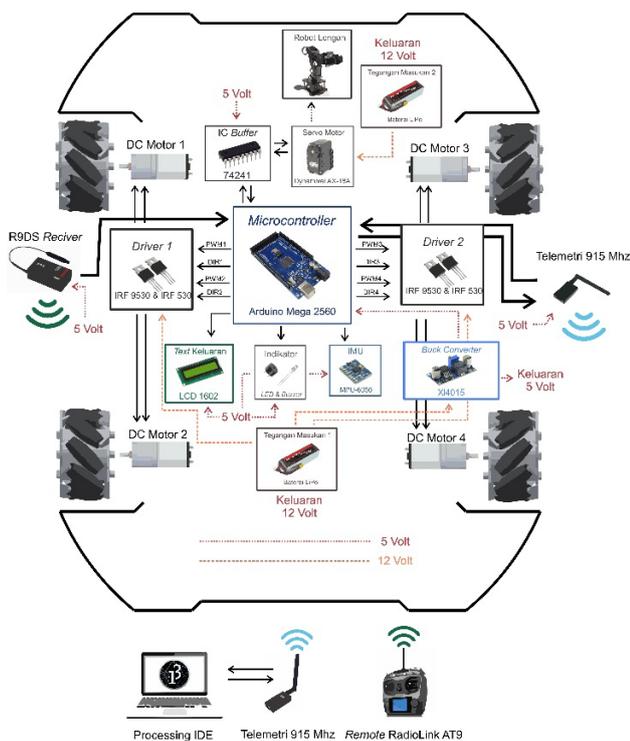
C. Desain Elektronis Robot

Bagian utama dalam desain elektronis ini adalah membuat *board* sistem minimum menggunakan Arduino Mega 2560 yang dapat digunakan untuk mengatur 4 buah motor DC dan juga mengendalikan servo *dynamixel* AX-18A, sehingga robot dapat berjalan dan melaksanakan tugas sesuai dengan program yang diberikan kepada robot. *Board* ini diletakkan tepat di atas *base* robot. Bagian elektronis robot ini diantaranya adalah *power supply*, *driver motor*, rangkaian komunikasi servo *dynamixel*, sensor IMU, telemetri 915 Mhz, R9DS *receiver*, dan penampil LCD.

Gambar 10 merupakan diagram blok keseluruhan system elektronis pada robot *mecanum arm*. Sistem ini menggunakan beberapa peranti masukan dan keluaran yang dikendalikan seutuhnya oleh Arduino Mega 2560. Berbagai macam peranti tersebut disusun sedemikian rupa sehingga membentuk topologi sistem seperti Gambar 10.

Perangkat masukan dari sistem ini yaitu sensor IMU, tombol, dan *feedback* dari servo *dynamixel*. Sistem ini menggunakan empat *driver* motor yang digunakan untuk menggerakkan motor DC. Selain itu, digunakan pula IC 74241 sebagai penghubung komunikasi antara Arduino dengan servo *dynamixel*. Sebagai *user interface* sekaligus penampil visualisasi robot *mecanum arm*, digunakan *software Processing IDE*.

Untuk rangkaian catu daya, robot *mecanum arm* ini menggunakan dua suplai dengan suplai pertama untuk mensuplai keseluruhan *shield/board* termasuk suplai Arduino Mega 2560 dan sensor yang digunakan, dan suplai kedua digunakan khusus untuk mensuplai servo *dynamixel* AX-18A. Suplai pertama dan kedua sama-sama



Gambar 10. Desain keseluruhan elektronis robot

menggunakan baterai berjenis *lithium polymer* (LiPo). Baterai LiPo yang digunakan berkapasitas 5500 mAh dengan tegangan keluaran sebesar 12.6 Volt.

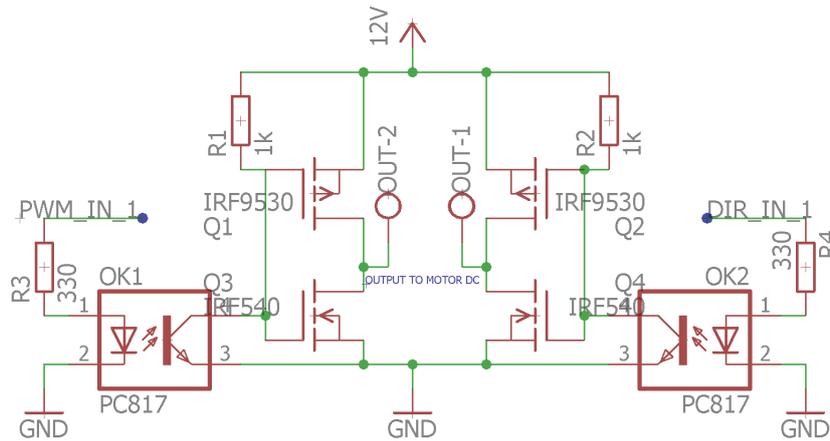
Untuk suplai pertama, sistem elektronis membutuhkan tegangan sebesar 5 Volt untuk beberapa komponen, sehingga tegangan 12.6 Volt dari baterai harus diturunkan. Penurunan tegangan keluaran baterai LiPo ini menggunakan modul XL4015 *DC to DC step down regulator*. Modul XL4015 tersebut diatur sedemikian sehingga menghasilkan tegangan keluaran sebesar 5 Volt yang dibutuhkan oleh Arduino Mega 2560 dan beberapa komponen tambahan lain seperti LCD 1602 dan juga sensor IMU MPU-6050. Pengaturan tersebut dapat dilakukan dengan memutar potensiometer sehingga tegangan dapat turun menjadi 5 Volt.

Suplai kedua pada *board* ini digunakan untuk mensuplai daya pada motor servo yang mempunyai spesifikasi tegangan yang dibutuhkan sebesar 9 Volt sampai dengan 12 Volt. Baterai LiPo langsung dihubungkan menuju motor servo tersebut karena tegangan yang dikeluarkan oleh baterai masih sesuai dengan tegangan kerja servo *dynamixel* AX-18A yaitu sebesar 12 Volt.

Komunikasi data dilakukan secara *wireless*. Komunikasi data dari robot menuju GUI dilakukan dengan media telemetri 915 Mhz. Sedangkan untuk menggerakkan arah robot *mecanum* digunakan *remote* RadioLink AT9 dan dikirimkan menuju R9DS *receiver* sebagai penerima data pada robot.

Driver motor DC diperlukan sebagai pengatur tegangan yang masuk pada motor DC. Motor DC menggerakkan roda *mecanum* agar robot dapat berjalan. Rangkaian *driver* motor ini menggunakan 2 jenis MOSFET, yakni IRF9530 (PNP) dan juga IRF530 (NPN), menggunakan *Optocoupler* PC817, dan beberapa resistor yang ketiganya mempunyai fungsinya masing-masing. Robot *mecanum arm* sendiri membutuhkan 4 motor DC sebagai penggerak dan untuk mengatur kecepatan 1 motor DC dibutuhkan 2 MOSFET IRF9530 (PNP), 2 MOSFET IRF530 (NPN), 2 *Optocoupler* PC817, dan 4 resistor. Gambar 11 merupakan skema rangkaian *driver* motor untuk 1 buah motor DC.

Metal Oxide Field Effect Transistor (MOSFET) merupakan salah satu jenis transistor yang pengoperasiannya tergantung pada efek medan. MOSFET sendiri mempunyai tiga kaki terminal yakni *Gate* (G), *Drain* (D) dan *Source* (S). Penggunaan MOSFET pada rangkaian digunakan untuk kebutuhan *switching* tegangan pada masing-masing MOSFET sesuai dengan kebutuhan. MOSFET yang digunakan bekerja secara berpasangan, jika satu pasang (IRF530 dan IRF9530) aktif maka pasangan yang lain tidak aktif. Hal tersebut menyebabkan perbedaan polaritas sehingga motor DC dapat berputar dua arah (*clockwise* dan *counterclockwise*). Simbol MOSFET pada Gambar 12 sudah tersedia dioda di dalam kedua jenis MOSFET tersebut. Dioda tersebut berguna untuk mengatasi lonjakan tegangan yang terjadi pada saat motor DC tersebut diberi tegangan kemudian diputuskan mengaktifkan motor DC merupakan beban induktif. Fungsi dioda yang lain adalah untuk memproteksi dari arus balik



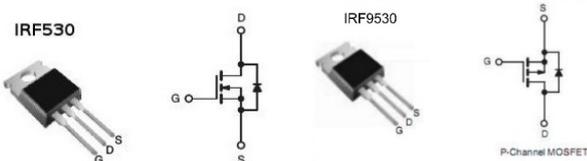
Gambar 11. Skema rangkaian driver motor DC

dari motor DC mengingat motor DC yang berputar juga dapat menghasilkan tegangan sendiri akibat efek medan magnet.

Optocoupler merupakan komponen yang dapat berfungsi sebagai penghubung terisolasi melalui media cahaya. *Optocoupler* mempunyai dua bagian yakni pengirim cahaya dan penerima cahaya. Masing-masing bagian tidak terhubung langsung secara konduktif melainkan melalui media cahaya. Prinsip kerjanya adalah pada bagian pengirim memancarkan sumber cahaya *infrared* (IR) lalu pada bagian penerima akan menangkap cahaya tersebut dengan menggunakan komponen semikonduktor yang peka terhadap cahaya (*phototransistor*). Cahaya yang dideteksi oleh *phototransistor* tersebut akan mengakibatkan terjadinya hubungan antara *emitor* dan kolektor (*switch on*). Untuk menghasilkan cahaya maka pada LED harus diberi tegangan pada kedua terminal anoda dan katodanya. Penggunaan *optocoupler* pada rangkaian *driver* motor DC ini adalah berfungsi untuk mengkonversi tegangan Arduino yaitu 5 Volt menuju tegangan yang di-*switching* oleh MOSFET yaitu 12 Volt, fungsi yang lain adalah berguna untuk proteksi pada Arduino itu sendiri karena level tegangan yang digunakan berbeda yang mana Arduino tidak terhubung secara langsung melainkan terhubung melalui cahaya.

Motor servo *dynamixel* AX-18A menggunakan tambahan komponen untuk dapat berkomunikasi dengan Arduino karena membutuhkan komunikasi *half-duplex* dengan kecepatan 1Mbps jika servo yang digunakan lebih dari satu. Komponen tersebut adalah IC 74241 *buffer* yang mana dapat mempercepat kecepatan komunikasi *half-duplex* yang dibutuhkan oleh servo *dynamixel* dan Arduino tersebut. Rangkaian skematik yang digunakan seperti pada Gambar 13.

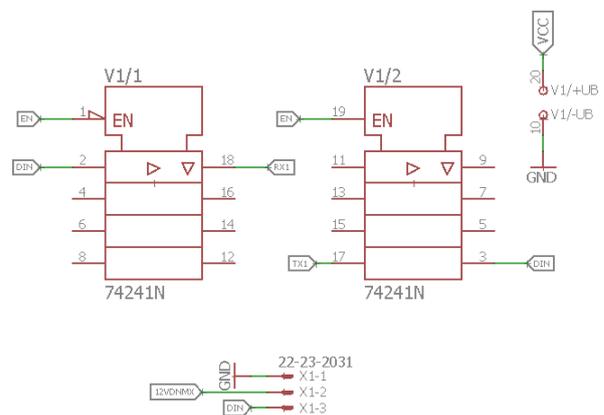
IC ini merupakan IC *transistor-transistor logic*



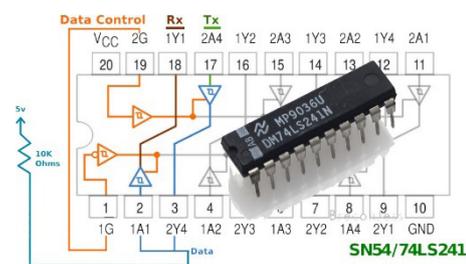
Gambar 12. MOSFET IRF530 dan MOSFET IRF9530

(TTL) yang mana menggunakan level tegangan rendah dari 0 Volt sampai dengan 5 Volt. Berbeda dengan IC *complementary metal oxide semiconductor* (CMOS) yang mana menggunakan level tegangan tinggi dari 0 Volt sampai dengan 12 Volt, IC 74241 menggunakan level tegangan rendah, sehingga pada pin VCC dihubungkan dengan tegangan 5 Volt yang sudah diturunkan oleh XL4015 untuk memberi daya pada IC tersebut. Gambar 14 merupakan *pinout* yang digunakan IC 74241 untuk menghubungkan antara Arduino dengan *dynamixel*.

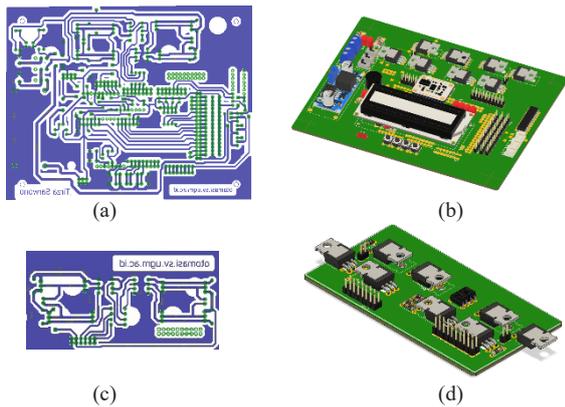
Pengkoneksi antara Arduino dengan IC 74241 adalah *pin* TX dan RX Arduino tersambung pada *pin* 17 dan 18 pada IC 74241. Sedangkan pada IC 74241 yang menuju *dynamixel* adalah berupa *pin* berisi data yang akan terhubung dengan *pin* data pada servo *dynamixel* AX-18A. *Pin* 1 dan 19 pada IC 74241 juga dihubungkan pada salah satu *pin* digital Arduino agar digunakan untuk mengontrol



Gambar 13. Komunikasi Arduino dan servo dynamixel



Gambar 14. IC buffer 74241



Gambar 15. Desain PCB robot; (a) Desain Jalur PCB Utama; (b) Visualisasi 3D PCB Utama; (c) Desain Jalur PCB Kedua; (d) Visualisasi 3D PCB Kedua

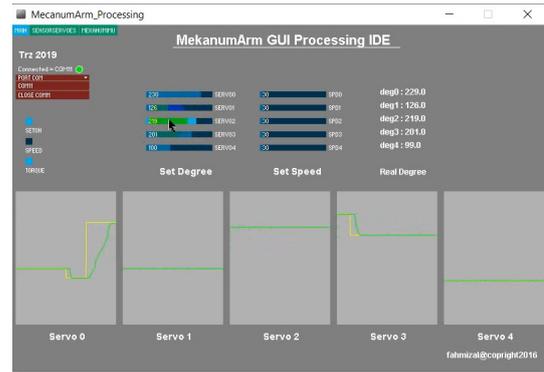
data IC tersebut digunakan atau tidak (*data control*).

Seluruh rangkaian dan komponen yang terlibat kemudian disatukan ke dalam sebuah *printed circuit board* (PCB). Hal ini bertujuan untuk mengurangi jumlah penggunaan kabel, mempermudah koneksi antar komponen yang digunakan, serta menambah kerapian dari robot yang dibuat. PCB yang dibuat pada robot ini ada dua, yaitu PCB utama dan PCB tambahan yang berisi dua *driver* motor sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15. PCB pertama mempunyai panjang sebesar 16 cm dan lebar 12 cm. PCB ini diletakkan di atas *base* robot beroda. Tata letak komponen dapat dilihat pada Gambar 15b. Pembuatan PCB kedua bertujuan untuk memperkecil dimensi dari *board* yang dibuat, karena apabila dua *driver* motor ini dimasukkan pada PCB pertama maka dimensi dari PCB pertama akan menjadi lebih besar. Peletakan dari board ini berada di atas PCB pertama yang terhubung menggunakan *pin header* untuk membuat koneksi antara PCB pertama dan kedua.

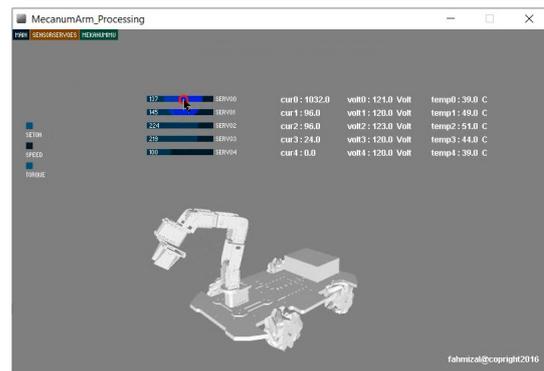
D. Desain Antarmuka Robot

Antarmuka robot digunakan sebagai penghubung antara pengguna dengan robot. Antarmuka ini dibuat dengan menggunakan *software Processing IDE*. GUI yang dibuat terdiri dari tiga tab/bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16. Bagian yang pertama, GUI indikator kecepatan, posisi, dan suhu servo, digunakan sebagai pengatur sudut servo *dynamixel*. Terdapat pula pengatur kecepatan dari servo *dynamixel* tersebut. *Feedback* sudut yang dibaca oleh *dynamixel* itu sendiri juga ditampilkan baik dalam bentuk tulisan dan juga bentuk perbandingan grafik secara *realtime*.

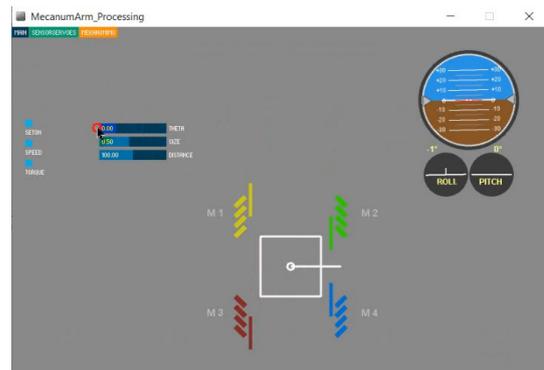
Bagian yang kedua, GUI visualisasi 3D robot, menampilkan beberapa *feedback* dari setiap servo *dynamixel* itu sendiri. *Feedback* yang ditampilkan adalah berupa arus/beban servo, tegangan setiap servo, dan suhu pada masing-masing servo. Data-data tersebut ditampilkan secara *realtime* sehingga setiap servo dapat dipantau kondisinya. GUI ini juga menampilkan visualisasi 3D dari robot *mecanum arm* yang menunjukkan gerakan 3D *arm manipulator* mengikuti gerakan aslinya.



(a)



(b)



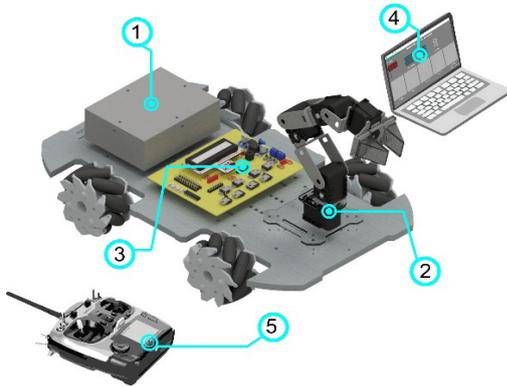
(c)

Gambar 16. Desain antarmuka robot; (a) GUI indikator kecepatan, posisi, dan suhu servo; (b) GUI visualisasi 3D robot; (c) GUI indikator kemiringan robot

Bagian yang ketiga, GUI indikator kemiringan robot, menampilkan visualisasi robot *mecanum arm*. Visualisasi tersebut dapat diatur pada pengaturan *slider*. *Output* dari visualisasi tersebut berupa arah sudut *mecanum arm*, kecepatan setiap roda, dan arah perputaran setiap roda. Pada GUI ini juga ditampilkan data yang diambil dari sensor IMU MPU-6050. Data tersebut ditampilkan dengan visualisasi pada Gambar 16c.

E. Penyatuan Sistem Keseluruhan

Sistem keseluruhan merupakan gabungan dari perangkat keras dan perangkat lunak. Gambar 17 adalah tampilan sistem secara keseluruhan. Tabel 1 menunjukkan keterangan setiap komponen yang ada di dalam sistem keseluruhan *Mecanum arm manipulator* 4-DOF.

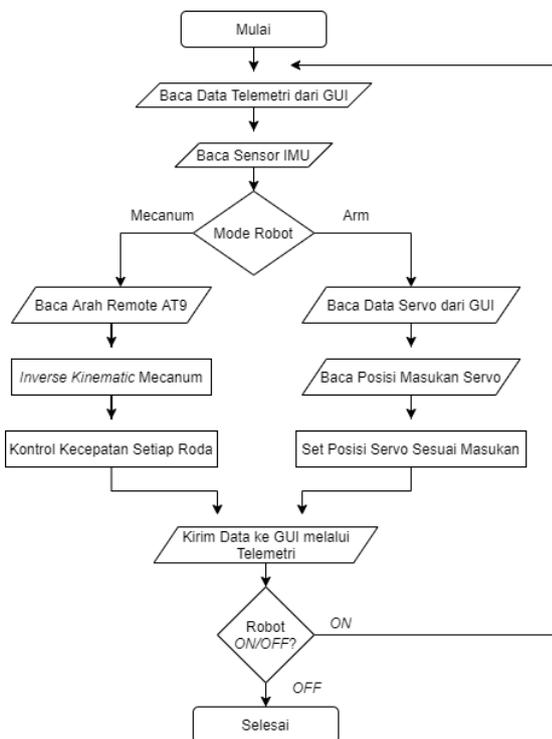


Gambar 17. Perancangan sistem keseluruhan

Tabel 1. Keterangan sistem keseluruhan

No	Keterangan
1	Robot Mecanum
2	Robot Arm Manipulator
3	Board Elektronis
4	Antarmuka Processing IDE
5	Remote RadionLink AT9

Gambar 18 menjelaskan tentang alur program robot. Saat pertama kali dihidupkan, robot akan membaca data yang diterima dari GUI melalui telemetri. Pembacaan data yang lain adalah pembacaan data dari sensor IMU, yang nantinya data tersebut digunakan sebagai data untuk memvisualisasikan kemiringan robot *mecanum* pada GUI. Setelah membaca data tersebut, robot membaca mode robot yang mana ditentukan oleh pengguna melalui tombol *selector* pada *remote RadioLink AT9*. Jadi fungsi



Gambar 18. Flowchart alur program

Tabel 2. Hasil pengujian motor DC

Pin PWM	Pin Arah	Motor DC	Hasil Arah
0	HIGH	Kecepatan tinggi	Putar ke Belakang
100	HIGH	Kecepatan sedang	Putar ke Belakang
200	HIGH	Kecepatan rendah	Putar ke Belakang
255	HIGH	Berhenti	Putar ke Belakang
0	LOW	Berhenti	Putar ke Depan
100	LOW	Kecepatan rendah	Putar ke Depan
200	LOW	Kecepatan sedang	Putar ke Depan
255	LOW	Kecepatan tinggi	Putar ke Depan

antara *mecanum* dan robot lengan tidak dapat digunakan secara bersama sama. Jika memilih robot *mecanum* untuk digerakkan maka pengaturan gerak arah robot mekanum dilakukan dengan menggunakan *remote RadioLink AT9*. Jika memilih robot lengan untuk digerakkan maka pengaturan sudut setiap servo pada lengan dilakukan pada GUI. Terakhir robot akan mengirimkan kembali data yang telah dibaca kembali menuju GUI untuk ditampilkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

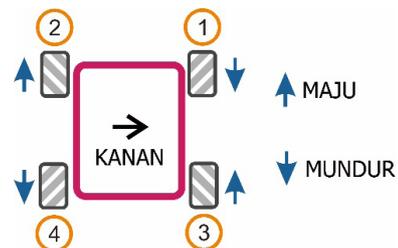
A. Pengujian Driver Motor DC

Pengujian *driver* motor dilakukan untuk mengetahui apakah *driver* motor dapat mengatur kecepatan dan arah putaran motor DC. Untuk pengujian kecepatan, *driver* motor diberikan *pulse width modulation* (PWM) dan untuk pin lainnya diberikan logika *HIGH* atau *LOW* untuk mengatur arah putaran motor DC. Tabel 2 menunjukkan hasil dari pengujian *driver* motor.

Tabel 2 menunjukkan bahwa *driver* motor dapat bekerja dengan baik. Pengaturan arah putaran dapat dilakukan dengan mengubah logika digital dari pin arah, sedangkan pengaturan kecepatan dapat dilakukan dengan memberikan nilai pada pin PWM antara 0 sampai dengan 255.

B. Pengujian Arah Gerak Robot

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil pergerakan robot dengan perbedaan arah perputaran roda. Konfigurasi roda disusun seperti pada Gambar 19 sedemikian hingga membentuk seperti huruf "X". Pemilihan konfigurasi roda seperti huruf "X" didasari karena konfigurasi ini lebih baik dari sisi konsistensi dan kecepatan dalam melakukan pergerakan daripada



Gambar 19. Konfigurasi roda *mecanum*

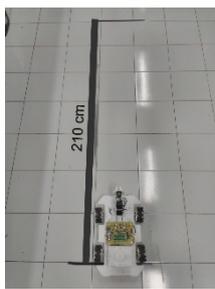
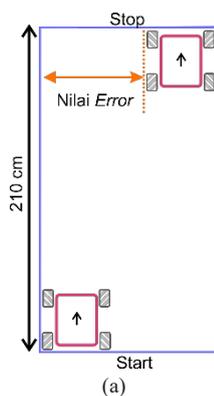
Tabel 3. Hasil pengujian arah gerak robot

Arah Putar				Hasil Gerakan Mecanum
Roda 1	Roda 2	Roda 3	Roda 4	
Maju	Maju	Maju	Maju	Ke Depan
Mundur	Mundur	Mundur	Mundur	Ke Belakang
Mundur	Maju	Maju	Mundur	Ke Kanan
Maju	Mundur	Mundur	Maju	Ke Kiri
Diam	Maju	Maju	Diam	Ke Depan Kanan Diagonal
Maju	Diam	Diam	Maju	Ke Depan Kiri Diagonal
Diam	Mundur	Mundur	Diam	Ke Belakang Kanan Diagonal
Mundur	Diam	Diam	Mundur	Ke Belakang Kiri Diagonal
Mundur	Maju	Mundur	Maju	Berputar Clockwise
Maju	Mundur	Maju	Mundur	Berputar Counterclockwise

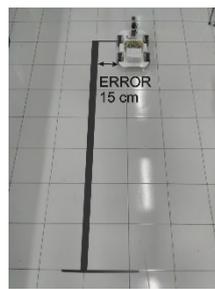
konfigurasi lain [18]. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 yang kemudian dapat digunakan sebagai acuan untuk gerakan dasar dari robot *mecanum arm*.

C. Pengujian Heading Robot Mecanum Arm

Pengujian *heading* ini digunakan untuk mengetahui apakah robot dapat berjalan dengan lurus sesuai dengan arah yang dituju. Gambar 20a merupakan visualisasi pengujian yang dilakukan. Robot berjalan secara lurus dengan panjang lintasan sepanjang 210 cm. Dari perjalanan yang ditempuh oleh robot, didapatkan nilai galat yang merupakan jarak dari garis acuan menuju posisi robot.



(b)



(c)

Gambar 20. Pengujian heading robot; (a) Visualisasi pengujian heading yang digunakan; (b) Posisi awal pengujian; (c) Posisi akhir pengujian

Tabel 4. Hasil heading mecanum

Arah Gerak	Galat Data 1 (cm)	Galat Data 2 (cm)	Galat Data 3 (cm)
Maju	15	13	17
Kanan	20	19	17
Kiri	5	7	7
Mundur	10	8	10

Tabel 4 merupakan hasil data pengujian dengan pengambilan data sejumlah tiga kali untuk setiap arah gerak. Arah gerak yang diambil datanya adalah arah maju, mundur, ke samping kiri, dan ke samping kanan. Nilai galat terbesar yang dihasilkan pada data tersebut adalah saat robot *mecanum* menuju arah samping kanan karena galat yang dihasilkan antara 17 cm sampai 20 cm.

Nilai galat yang dihasilkan terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah kondisi roda tidak sejajar antara roda depan dan belakang yang menyebabkan robot *mecanum* berjalan tidak lurus. Faktor lainnya adalah nilai PWM yang sama, *output* kecepatan yang dihasilkan oleh motor DC tidak sama sehingga tidak seimbang kecepatan antara satu roda dengan yang lain. Pada pengembangan selanjutnya hal ini bisa diperbaiki dengan melakukan penambahan metode kendali seperti pengendali PID (*Proporsional, Integral dan Derivatif*) [19], [20].

D. Pengujian Ketahanan Baterai

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama baterai dapat digunakan. Robot ini menggunakan dua baterai dengan satu baterai untuk robot *mecanum* dan baterai yang lain khusus untuk servo *dynamixel*. Baterai yang digunakan berjenis baterai LiPo berkapasitas 5500 mAh. Pengujian dilakukan dengan menentukan kondisi awal baterai yaitu baterai terisi penuh dengan indikator tegangan baterai sebesar 12.6 Volt baik dari baterai pertama maupun kedua. Kemudian baterai tersebut digunakan untuk menyuplai robot selama 15 menit.

Hasilnya pada baterai pertama yang digunakan untuk menyuplai elektronis dan motor DC *mecanum* tersisa tegangan 11.9 Volt. Baterai kedua yang digunakan untuk menyuplai servo *dynamixel* tersisa 11.7 Volt.

E. Pengujian Sudut Servo Dynamixel

Pengujian sudut servo ini berguna untuk mengetahui nilai galat antara nilai sudut masukan yang diinginkan dengan sudut yang dibentuk oleh servo *dynamixel*. Pengujian ini dilakukan dengan mengatur nilai sudut pada GUI *Processing IDE* dan melihat *output feedback* pada nilai yang tertera pada GUI tersebut. Tabel 5 merupakan data hasil pengujian sudut servo *dynamixel*. Pada data tersebut nilai galat yang dihasilkan antara sudut *input* dengan hasil *feedback* yang terbaca pada *dynamixel* hasilnya antara 0 sampai dengan 2 derajat. Nilai ini menunjukkan bahwa sudut servo yang digunakan dapat menghasilkan pergerakan *arm manipulator* yang maksimal.

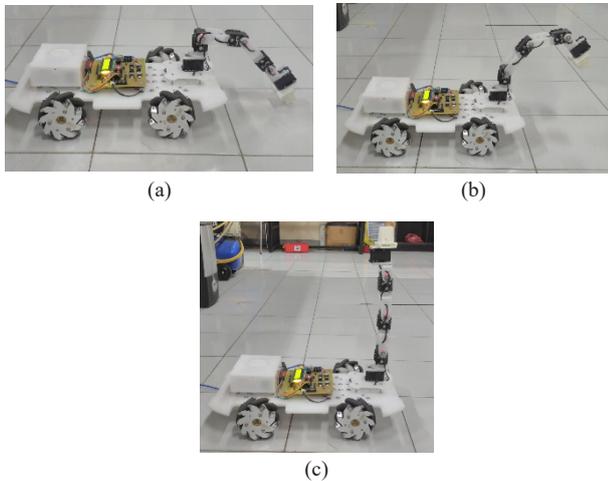
Tabel 5. Pengujian sudut servo dynamixel

Input Sudut (deg)	Feedback Sudut (deg)	Nilai Galat (deg)
182	180	2
110	108	2
95	93	2
178	177	1
187	188	-1
200	200	0
72	70	2
85	83	2
138	137	1
103	102	1

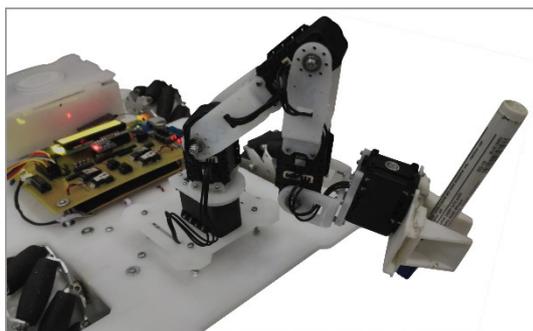
F. Pengujian Arm Manipulator

Pengujian ini dilakukan untuk menguji ketahanan *arm manipulator*. Pengujian dilakukan dengan membuat robot *arm manipulator* sejajar dengan arah sumbu vertikal lalu robot *arm* ditiadakan selama 2 menit. Gambar 21 merupakan tahapan pengujian *arm manipulator*. Hasil yang didapatkan adalah robot *arm* tersebut mampu menahan bebannya sendiri selama 1 menit penuh. Hasil itu cukup menunjukkan bahwa servo *dynamixel* dapat menopang bagian-bagian dari robot *arm manipulator* dengan baik.

Pengujian lain yang dilakukan adalah menguji robot



Gambar 21. Pengujian heading *mecanum*; (a) Posisi saat kondisi servo OFF; (b) Posisi sudut default; (c) Posisi *arm* secara vertikal



Gambar 22. Pengujian robot *arm* yang menggenggam objek

arm manipulator untuk menggenggam suatu objek. Pada pengujian ini objek yang digenggam adalah sebuah spidol. Gambar 22 merupakan gambar yang diambil pada saat pengujian robot *arm* menggenggam suatu objek. Objek yang dapat digenggam oleh *gripper* robot *arm* yaitu mempunyai diameter antara 1 cm sampai 5 cm.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada robot *mecanum arm*, desain dalam bentuk 3D yang kemudian dibuat dengan bahan *acrylic* dapat berjalan dengan baik. Sistem elektronis robot yang menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai komponen utama juga dapat mengendalikan keseluruhan sistem robot dengan cukup baik. Begitu juga dengan antarmuka yang dibuat juga dapat mengendalikan arm robot. Secara fungsional, *driver motor* yang digunakan dapat mengendalikan motor DC dengan baik dan servo *dynamixel* yang digunakan juga dapat bekerja dengan baik dengan galat sudut terbesar hanya sebesar 2 derajat, sehingga dapat menopang beban robot dan menggenggam objek dengan baik. Untuk pengujian heading robot, didapatkan galat terkecil sebesar 5 cm dan galat terbesar adalah 20 cm. Pengembangan selanjutnya bias dilakukan guna memperkecil galat heading dari robot yang bisa dilakukan secara mekanis maupun elektronis. Selain itu, pengembangan juga dapat dilakukan dengan melakukan penambahan metode kendali.

REFERENSI

- [1] M. Veneri and M. Massaro, "The effect of Ackermann steering on the performance of race cars," *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, pp. 1–21, 2020.
- [2] R. K. Megalingam, D. Nagalla, R. K. Pasumarthi, V. Gontu, and P. K. Allada, "Angular orientation of steering wheel for differential drive," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 5, no. 3, pp. 275–283, 2020.
- [3] X. Zhang, Y. Fang, B. Li, and J. Wang, "Visual servoing of nonholonomic mobile robots with uncalibrated camera-to-robot parameters," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 1, pp. 390–400, 2017.
- [4] M. A. Al Mamun, M. T. Nasir, and A. Khayyat, "Embedded system for motion control of an omnidirectional mobile robot," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 1–18, 2018.
- [5] J. S. Keek, S. L. Loh, and S. H. Chong, "Comprehensive development and control of a path-trackable mecanum-wheeled robot," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 18368–18381, 2019.
- [6] J.-J. Bae and N. Kang, "Design optimization of a mecanum wheel to reduce vertical vibrations by the consideration of equivalent stiffness," *Shock and Vibration*, vol. 2016, no. 4, pp. 1–8, 2016.
- [7] J. Qian, B. Zi, D. Wang, Y. Ma, and D. Zhang, "The design and development of an omni-directional mobile robot oriented to an intelligent manufacturing system," *Sensors*, vol. 17, no. 9, pp. 2073, 2017.
- [8] M. Rocchetti, L. Casini, and G. Delnevo, "On the probabilistic mind of a robot," *Journal of Future Robot Life*, vol. 1, no. 1, pp. 23–33, 2020.
- [9] H. M. Yudha, T. Dewi, P. Risma, and Y. Oktarina, "Arm robot manipulator design and control for trajectory tracking; a review,"

- in 2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), Oct. 2018, pp. 304–309.
- [10] C. Urrea, J. Cortés, and J. Pascal, “Design, construction and control of a SCARA manipulator with 6 degrees of freedom,” *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 14, no. 6, pp. 396–404, 2016.
- [11] C. M. Shruthi, A. P. Sudheer, and M. L. Joy, “Dual arm electrical transmission line robot: Motion through straight and jumper cable,” *Automatika*, vol. 60, no. 2, pp. 207–226, 2019.
- [12] H. Fleischer *et al.*, “Application of a dual-arm robot in complex sample preparation and measurement processes,” *Journal of Laboratory Automation*, vol. 21, no. 5, pp. 671–681, 2016.
- [13] E. Apriaskar, Fahmizal, and M. R. Fauzi, “Robotic technology towards industry 4.0: Automatic object sorting robot arm using kinect sensor,” *Journal of Physics Conference Series*, vol. 1444, no. 1, pp. 0–8, 2020.
- [14] J. G. Ge, “Programming by demonstration by optical tracking system for dual arm robot,” in Proc. IEEE ISR 2013, 2013.
- [15] R. Sakai *et al.*, “A mobile dual-arm manipulation robot system for stocking and disposing of items in a convenience store by using universal vacuum grippers for grasping items,” *Advance Robotic*, vol. 34, pp. 219–234, 2020.
- [16] H. Guo, K.-L. Su, K.-H. Hsia, and J.-T. Wang, “Development of the mobile robot with a robot arm,” in 2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Mar. 2016, vol. 2016-May, pp. 1648–1653.
- [17] C. Rohrig, D. Hes, and F. Kunemund, “Motion controller design for a mecanum wheeled mobile manipulator,” in 2017 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA), Aug. 2017, pp. 444–449.
- [18] C. He, D. Wu, K. Chen, F. Liu, and N. Fan, “Analysis of the mecanum wheel arrangement of an omnidirectional vehicle,” in Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2019, pp. 1–12.
- [19] E. Apriaskar, F. Fahmizal, I. Cahyani, and A. Mayub, “Autonomous mobile robot based on behaviour based robotic using V-REP simulator–pioneer P3-DX robot,” *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 16, no. 1, 2020.
- [20] E. Apriaskar, F. Fahmizal, N. A. Salim, and D. Prastiyanto, “Performance evaluation of balancing bicopter using P, PI, and PID controller,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 44–49, 2019.