

Pembangunan Smartphone-controlled Goods Carrier Mobile Robot

Noor Hanisah Binti Abdullah^{1*}, Muhammad Ariff Iskandar Bin Muhammad Yuzairee², Ahmad Fakhrl Zaman Bin Mohd Ariffin³

^{1,2,3} Department of Electrical Engineering, Politeknik Tuanku Syed Sirajuddin.

*noorhanisah@ptss.edu.my

Abstrak: Kajian ini adalah tentang pembangunan prototaip Smartphone-controlled Goods Carrier Mobile Robot (SGCMR) yang direkacipta untuk mengangkut barang (*load transportation*) bagi meringankan beban kerja manusia terutama orang yang kurang upaya dan warga emas. Para petani, suri rumah, pekerja kilang dan pengutip bola tenis adalah contoh pengguna yang seringkali menggunakan kudrat tenaga yang banyak untuk mengangkut barangan mereka. Justeru itu, SGCMR dibina bagi meringankan beban kerja manusia. Robot yang bersaiz model ini mampu membawa beban lebih dari 5 kg muatan dan boleh dikawal pergerakannya dari jarak jauh dengan menggunakan aplikasi *MIT Inventor* yang terdapat pada telefon pintar. Namun begitu, untuk permulaan, robot ini dihadkan untuk membawa beban maksimum 1 kg sahaja dengan menggunakan *load cell sensor* sebagai pengesan berat serta paparan LCD dan *buzzer* sebagai sistem penggera jika muatan melebihi 1kg. Robot ini digerakkan dengan menggunakan dua pasang *DC worm gear motor* yang dikawal oleh dua litar *IC RZ7886 motor driver* bagi mengawal arah pusingan motor. SGCMR menggunakan litar mikro pengawal NodeMCU ESP32 kerana ia dilengkapi dengan *bluetooth v4.2 module* yang diperlukan untuk berhubung dengan aplikasi *MIT inventor* secara tanpa wayar (*wireless*) bagi menggerakkan motor robot. Pemilihan litar, perkakasan dan material bagi kajian ini dikaji terlebih dahulu terutama pemilihan motor yang mampu membawa beban yang berat. Hasil ujilari menunjukkan bahawa sistem ini berjaya membawa beban melebihi 5 kg, bergerak dengan tepat termasuk pusingan U, berjaya memaparkan berat beban serta sistem penggera lebih muatan beroperasi dengan baik. Secara keseluruhan, kajian ini telah berjaya memenuhi objektif dan skop kajian serta mampu membantu meringankan beban manusia dalam mengangkut barang.

Kata Kunci: ESP32, DC worm gear motor, RZ7886 motor driver, MIT Inventor, Bluetooth, Load transportation

1.0 PENGENALAN

Dalam kehidupan seharian, terdapat banyak pekerjaan dan tugas-tugas harian yang memerlukan manusia untuk menggunakan kerahan tenaga yang banyak. Contohnya di dalam bidang pertanian, industri perkilangan, sukan, pembinaan dan lain-lain lagi. Para pekerja terpaksa mengangkut barang – barang yang berat, berulang-ulang kali samada secara manual atau pun dengan bantuan mesin. Sebagai contoh di dalam bidang pertanian, kebanyakan para petani mengangkut hasil tanaman mereka dengan memikul bakul mahupun menggunakan troli. Kedua-dua kaedah ini memerlukan kerahan tenaga yang banyak dan akan membebankan para petani terutama petani yang sudah berumur atau golongan kurang upaya. Menurut Muhammad Amnan Hibrabhim dalam keratan akhbar Sinar Harian (2021), 70 peratus petani di Malaysia adalah berusia lebih dari 60 tahun.

Kerahan tenaga yang berlebihan bukan sahaja memperlambatkan kerja, tetapi juga boleh menyebabkan keletihan dan masalah kesihatan seperti sakit badan atau kecederaan. Bahkan, menurut U.S Department of Labor (2025) dan Physiogo Physiotherapy Rehab Center (2018), kerja-kerja mengangkat dan mengangkut beban berat dengan teknik yang salah serta gerak kerja yang berulang-ulang boleh menyebabkan masalah otot, masalah sakit belakang yang serius, sakit sendi dan risiko penyakit ergonomiks seperti Musculoskeletal Disorders (MSDs).

Justeru itu, pelbagai inovasi rekacipta telah dilakukan bagi meringankan beban kerja manusia. Ini termasuklah dengan merekacipta robot. Ini kerana robot adalah sebuah mesin pemudahcara manusia yang biasanya digunakan untuk tugas yang berat, berbahaya, pekerjaan yang berulang dan kotor (Alfaozan Imani Muslim, 2022). Namun begitu, hasil tinjauan didapati *load-carrying robot* yang berada di pasaran adalah jenis berskala besar, lebih kompleks, lebih maju dan sangat mahal. Bahkan di pasaran Malaysia, boleh dikatakan tiada robot pembawa barang untuk penggunaan skala kecil seperti di rumah dan kebun yang lebih murah (Nurul Asdaq Abdul Halim, 2023).

Justeru itu, kajian ini dibina bagi menghasilkan sebuah *load-carrying mobile robot* untuk penggunaan skala kecil yang lebih murah, tidak terlalu kompleks, mudah dikawal tetapi masih boleh mengangkut barang dan meringankan beban kerja manusia. Sistem ini menggunakan teknologi *bluetooth v4.2* dan aplikasi MIT Inventor sebagai alat kawalan jauh untuk mengawal pergerakan robot dengan jarak tidak melebihi 50 meter. Untuk permulaan, robot ini dihadkan untuk membawa beban maksimum 1 kg sahaja dengan menggunakan ± 5 kg *load cell sensor* dan juga LCD serta *buzzer* sebagai sistem amaran lebihan muatan.

1.1 Objektif Kajian

Objektif kajian yang ingin dicapai adalah seperti berikut;

- i. membangunkan sebuah *mobile robot* pembawa barang tidak melebihi 1 kg muatan yang dikawal secara tanpa wayar dengan menggunakan aplikasi pada telefon pintar.
- ii. merekabentuk sebuah sistem yang boleh mengesan dan memberi notifikasi amaran apabila terlebih muatan.

2.0 ULASAN LITERATUR

Revolusi Industri 4.0 (IR4.0) membawa kepada terknologi Internet of Things (IoT) dan juga perkembangan teknologi robotik dalam kehidupan dan tugas seharian manusia. *Autonomous Robot* adalah antara 9 tonggak IR4.0 di mana robot digunakan untuk melaksanakan tugas rumit atau melakukan tugas harian manusia. Robot boleh dipantau dan dikendalikan dari jauh serta ia boleh diprogramkan untuk beroperasi dalam persekitaran kerja yang sama seperti manusia (Nor Azlina Kassim, 2020).

Menurut kamus pelajar edisi ke-4 Dewan Bahasa dan Pustaka, Robot (n.d) bermaksud mesin yang dapat melakukan atau membuat pelbagai pekerjaan manusia. Manakala, menurut ISO 8373 (2021) menyatakan robot adalah “*programmed actuated mechanism with a degree of autonomy to perform locomotion, manipulation or positioning*”. Ini bermaksud robot adalah sejenis mesin automatik yang boleh melaksanakan tugas tertentu sama ada menggunakan penyeliaan manusia atau kawalan oleh program yang telah ditetapkan.

Terdapat banyak kategori *mobile robot* di pasaran. Antaranya adalah robot yang dikawal oleh manusia dengan menggunakan aplikasi di telefon pintar atau komputer dan robot yang bergerak secara automatik berdasarkan panduan program yang diberi seperti *Automated Guided Vehicle* (AGV) dan *Autonomous Mobile Robot* (AMR). Kajian tentang *load-carrying mobile robot* yang terdapat di pasaran telah dilakukan. Namun begitu, terlalu sedikit *mobile robot* yang membawa beban menggunakan *application control*. Kebanyakan *load-carrying mobile robot* yang ada di pasaran adalah jenis robot AGV dan AMR yang bergerak secara automatik, berskala besar, lebih kompleks, lebih maju, sangat mahal dan digunakan mengangkut barang di dalam industri perkilangan, servis penghantaran makanan, penghantaran ubat dalam hospital dan lain-lain lagi.

Namun begitu, beberapa perbandingan kajian terdahulu telah dilakukan bagi mendapatkan maklumat dan idea untuk menghasilkan *load-carrying mobile robot* untuk penggunaan skala kecil, tidak terlalu kompleks dan lebih murah. Jadual 1 menunjukkan perbandingan di antara beberapa kajian terdahulu.

Jadual 1

Perbandingan kajian-kajian terdahulu

	Kajian A	Kajian B	Kajian C	Kajian D
Input	5kg Load cell sensor, Ultrasonic Sensor, WiFi module	Android Bluetooth for RC car apps, Bluetooth HC-05	Blynk apps, GPS mobile, Bluetooth HC-05 module, GPS module	Line detecting sensor, push button, limit switch
Output	L298N motor driver module, Blynk App, Buzzer, 2 DC gear motor	L293D Motor Shield Driver, 2 DC motor	L298N Motor Driver module, 2 DC geared motor	MD30A Motor Driver module, 2 Servo PW motor
Controller	ESP32	Arduino Uno	Arduino Uno	PIC 16F877
Kaedah	<i>Autonomous robot</i> yang menggunakan ultrasonic sensor untuk mengesan pengguna melalui teknologi WiFi. Load cell sensor digunakan untuk mengesan berat muatan dan memaparkannya pada aplikasi Blynk. Buzzer digunakan untuk memberi amaran jika terlebih muatan. 5 kg maksimum beban.	<i>Smartphone-controlled mobile robot</i> yang menggunakan teknologi bluetooth untuk mengawal robot pada jarak jauh dan aplikasi android pada smartphone sebagai remote control. Hasil kajian hanya menggunakan beban bawah 1 kg sahaja.	<i>Autonomous robot</i> yang menjejaki lokasi pengguna melalui sistem GPS. GPS akan memberi lokasi semasa pengguna kepada robot untuk bergerak secara automatik. Bluetooth digunakan untuk menghubungkan smartphone dan robot. Robot ini boleh mengangkut beban maksimum 3 kg sahaja.	<i>Line Follower AGV</i> Robot yang bergerak mengikut garisan hitam/putih yang dihasilkan melalui pantulan LED kepada photodetector yang terdapat line detecting sensor. Kajian ini dihadkan untuk membawa 1 tray makanan sahaja.
Pengkaji	Nurul Asdaq Abdul Halim, 2023	Yudi Irawan Chandra et al., 2022	Prabhakaran S. et al., 2021	Nur Izzati Abdullah, 2007

Kajian A, C dan D adalah jenis *automated* robot yang bergerak secara automatik tanpa kawalan manusia. Ketiga-tiga kajian ini lebih kompleks dan memerlukan kajian yang lebih mendalam untuk menggerakkan robot dengan lancar terutama kaedah untuk menghalang robot dari berlanggar dengan objek halangan dan sentiasa dapat mengikut pengguna/laluan yang betul. Kajian A mempunyai

kekangan dari segi kelajuan internet di mana sistem robot itu memerlukan liputan internet yang cekap bagi membolehkan robot terus dapat berhubung dengan pengguna. Selain itu, kajian A juga mempunyai masalah dari segi gagal untuk membezakan antara objek yang perlu diikuti dan objek halangan dengan hanya menggunakan *ultrasonic sensor*. Manakala, Kajian D adalah *line follower* AVG robot yang bergerak terhad mengikut laluan yang ditetapkan sahaja. Ia tidak bebas bergerak pada semua arah dan tidak mempunyai sistem amaran lebih muatan. Kajian B dan C pula menggunakan teknologi bluetooth tetapi tidak mempunyai sistem paparan berat dan amaran jika terlebih muatan. Sistem amaran penting untuk memastikan robot tidak membawa lebih muatan yang boleh merosakkan dan mengganggu prestasi pergerakan robot.

Justeru itu, pengkaji memilih teknologi bluetooth dan sistem kawalan robot dengan menggunakan aplikasi kerana ia lebih mudah dan praktikal dikawal, bebas bergerak pada mana-mana arah tanpa perlu risau pelanggaran objek halangan. Di samping itu, sistem paparan dan penggera lebih muatan juga ditambah untuk penambahbaikan sistem.

3.0 METODOLOGI

Pembangunan Smartphone-controlled Goods Carrier Mobile Robot (SGCMR) terdiri daripada beberapa fasa dan peringkat pembangunan. Ini termasuk dengan proses menganalisis keperluan, perancangan, merekabentuk operasi kajian, merekabentuk prototaip produk, pemilihan perkakasan dan perisian, membangunkan aturcara, pemasangan litar, pembinaan prototaip dan ujilari produk.

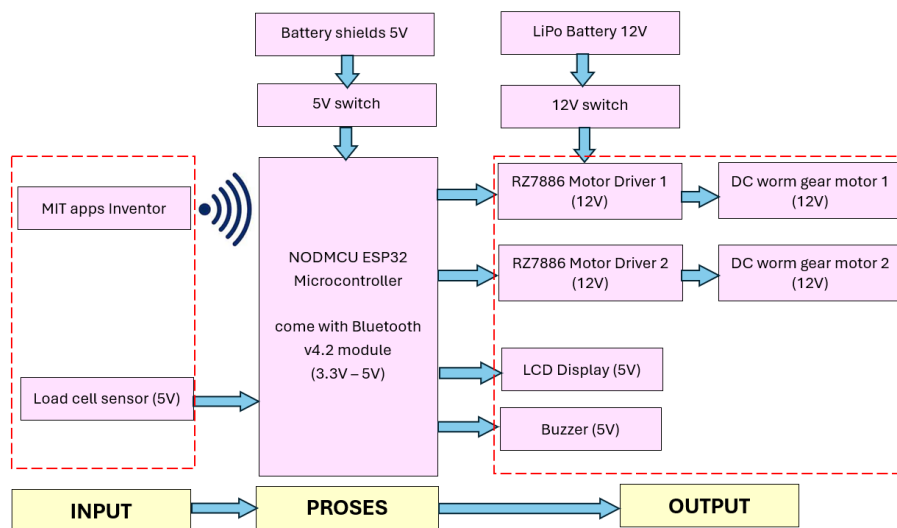
3.1 Analisis Keperluan dan Perancangan

Perkara pertama yang perlu dilakukan untuk membangunkan sesebuah produk adalah dengan mengenalpasti permasalahan yang hendak diselesaikan dan kehendak kajian tersebut. Matlamat kajian ini adalah untuk menghasilkan sebuah *load-carrying mobile robot* untuk penggunaan skala kecil yang lebih murah kosnya, tidak terlalu kompleks, tetapi masih boleh mengangkut barang dan meringankan beban kerja manusia. Oleh itu, pengkaji memilih untuk menghasilkan sebuah robot yang bergerak dengan menggunakan kawalan dari aplikasi *smartphone* melalui teknologi *bluetooth* kerana ia lebih mudah, lebih praktikal dan tidak kompleks. Pemilihan kawalan robot melalui aplikasi *smartphone* lebih sesuai kerana robot yang ingin dikawal tidak perlu bergerak sangat jauh dari pengguna kerana ia direka khas untuk pengguna yang memerlukan mereka untuk mengutip barang tetapi tidak mampu membawanya seperti petani yang berusia, ibu mengandung dan *tennis-ball collector*. Teknologi *bluetooth* dipilih kerana ia lebih praktikal berbanding teknologi WiFi kerana ia tidak memerlukan liputan internet.

3.2 Rekabentuk Operasi Kajian

Rekabentuk operasi kajian adalah untuk menentukan jenis input, output, proses untuk produk tersebut bagi mengetahui bagaimana ia beroperasi mengikut kehendak permasalahan dan objektif kajian. Seterusnya, jenis bekalan kuasa dan penentuan spesifikasi peralatan akan ditentukan kemudian. Rajah 1 menunjukkan gambarajah blok input, proses dan output bagi SGCMR.

Bahagian input terdiri aplikasi *MIT Inventor* yang berfungsi sebagai “remote control” untuk mengawal arah pergerakan robot dan *load cell sensor* untuk mengesan berat muatan. Maklumat-maklumat atau isyarat dari bahagian input akan dihantar ke litar pengawal ESP32 melalui wayar dan juga tanpa wayar (*bluetooth*) untuk diproses. Seterusnya, litar pengawal akan mengarahkan bahagian output iaitu *RZ7886 motor driver*, *DC worm geared motor*, *LCD display* dan *buzzer* untuk bekerja mengikut aturcara yang dibangunkan.



Rajah 1: Gambarajah blok projek SGCMR

3.3 Pemilihan Perkakasan dan Perisian

Pemilihan perkakasan dan perisian yang tepat adalah sangat penting kerana ia menentukan samada projek tersebut dapat beroperasi seperti yang dirancang dan mencapai objektif kajian. Untuk menghasilkan robot yang boleh membawa beban yang besar, perkakasan yang paling penting sekali untuk dilihat adalah jenis motor yang akan menggerakkan robot. Motor yang dipilih haruslah mempunyai torsi yang tinggi dengan kelajuan *revolutions per minute* (rpm) yang rendah supaya ia dapat menahan tekanan beban yang besar dan dapat bergerak dengan lancar (Nur Izzati Abdullah, 2007; Nurul Asdaq Abdul Halim, 2023). Oleh itu, *DC worm geared motor* adalah pilihan yang tepat kerana ia mempunyai nilai torsi yang tinggi dan kelajuan rpm yang rendah berbanding motor-motor DC yang lain seperti TT motor, stepper motor dan servo motor.

Jadual 2 menunjukkan senarai dan spesifikasi perkakasan-perkakasan utama yang digunakan dalam SGCMR. Pemilihan *motor driver* untuk memicu DC motor juga penting kerana *operating current* yang digunakan oleh DC motor selalunya tinggi, melebihi 2A. Oleh itu, RZ7886 *motor driver* dipilih kerana ia mempunyai banyak kelebihan seperti dapat berkendali pada arus yang tinggi (sehingga 13A), dapat berkendali pada voltan 12V, mempunyai saiz *relay* yang kecil dan litarnya lebih mudah (rujuk Jadual 2). Untuk pemilihan aplikasi telefon pintar yang akan digunakan sebagai “remote control”, aplikasi MIT App Inventor telah dipilih kerana aplikasi ini boleh bekerja dengan teknologi *bluetooth*.

Jadual 2

Senarai perkakasan-perkakasan utama SGCMR

Perkakasan	Spesifikasi
1. Load cell sensor 	• Come with Hx711 amplifier to be connected to device • Power supply : 5V, < 10mA • 0 – 5 kg weight sensing
2. ESP32 microcontroller 	• Power supply : 2.3 to 3.6V, 80 mA • Microcontroller IC: ESP-WROOM-32 • 30 I/O Pins • Build in Bluetooth v4.2 and WiFi module
3. IC RZ7886 motor driver relay 	• Power supply : 3 to 14V • Can conduct current maximum 13A • two pins of logic inputs
4. DC worm gear motor 	• Power supply : 12 V, 0.06 to 1.3 A • Speed : 90 rpm • Torque : > 25kg.cm

3.4 Rekabentuk dan Pembangunan Litar

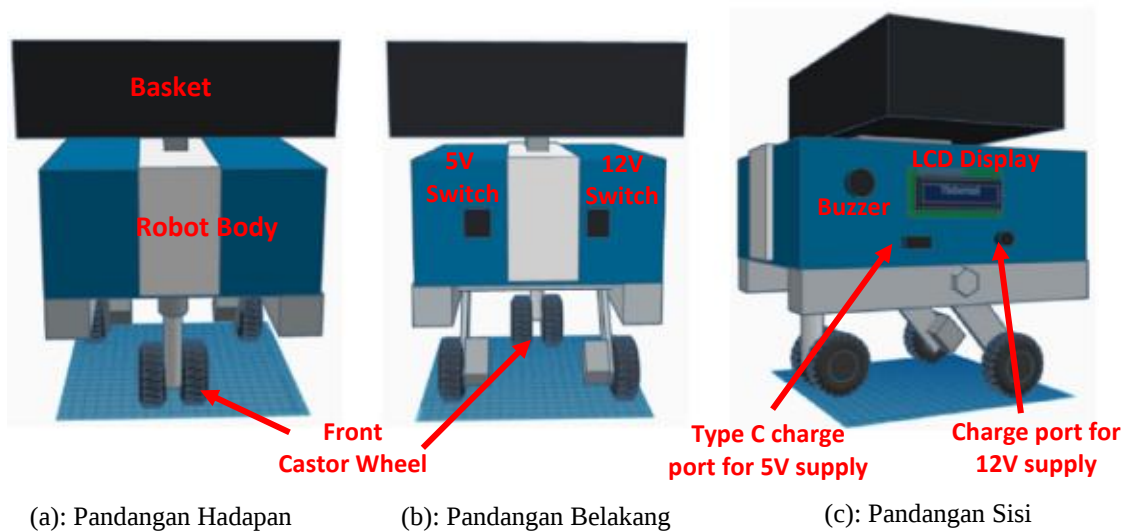
Terdapat dua litar utama yang telah direkabentuk dan difabrikasi untuk membangunkan projek ini. Litar tersebut adalah, litar RZ7886 *Motor Driver* dan *litar shield* untuk mikropengawal ESP32. Litar-litar ini direkabentuk dengan menggunakan Perisian Proteus 8.5 Professional. Perisian ini akan menukarkan litar skematik kepada corak litar *Printed Circuit Board (PCB)* sebelum ia dicetak dan difabrikasikan dengan menggunakan mesin UV dan mesin *etching*.

3.5 Rekabentuk dan Pembangunan Prototaip

Fasa seterusnya adalah fasa merekabentuk prototaip dengan mengambil kira ukuran saiz, jenis material dan susun atur kedudukan input, output dan litar kawalan pada produk. Lakaran rekabentuk prototaip adalah menggunakan perisian Sketchup dan TinkerCad. Selepas melalui beberapa siri pengujian dan percubaan gerakan motor robot, didapati bahawa pemilihan material, jenis tayar yang lebih mencengkam, rekabentuk kerangka dan kedudukan tayar adalah sangat penting dalam memastikan

robot bergerak dengan lancar. Rajah 2 menunjukkan lakaran rekabentuk prototaip, manakala Rajah 9 menunjukkan hasil pembinaan prototaip robot yang sebenar.

Badan robot SGCMR diperbuat daripada bahan plastik ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) dengan menggunakan percetakan 3D *printer*. Bahan plastik ABS adalah lebih tahan lama dan sesuai untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan yang tinggi. Manakala, jenis tayar yang dipilih adalah jenis tayar getah yang lebih mengcengkam pada permukaan lantai. Untuk rekabentuk “remote control” pada perisian MIT App Inventor pula, adalah seperti dalam Rajah 3.



Rajah 2: Lakaran prototaip robot menggunakan perisian TinkerCad



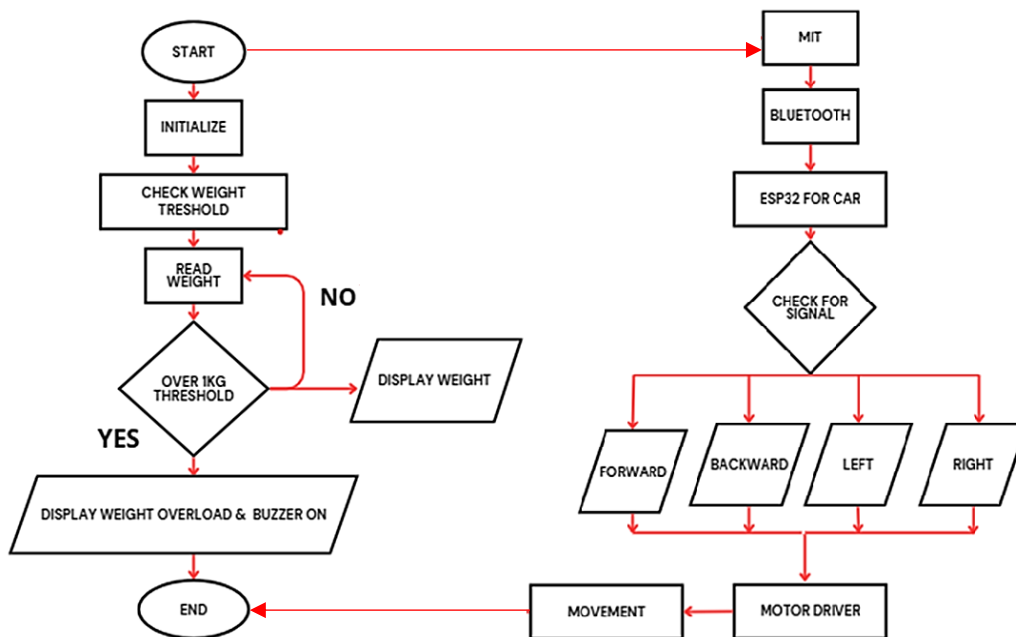
Rajah 3: Paparan remote control pada aplikasi MIT App Inventor

3.6 Pembangunan Aturcara dan Operasi Kendalian

Fasa seterusnya adalah pembangunan aturcara untuk mengawal kelakuan sesebuah mesin. Untuk mikropengawal ESP32, bahasa pengaturcaraan yang digunakan adalah C++ dan perisian Arduino IDE digunakan sebagai *compiler*. Aturcara perlu dibangunkan dan diuji sebelum dimuat turun

ke dalam IC mikropengawal ESP32. Rajah 4 adalah carta alir yang digunakan untuk membangunkan aturcara SGCMR dan juga menunjukkan bagaimana SGCMR berkendali.

Apabila suis bekalan kuasa 5V dan 12V dihidupkan, SGCMR akan diaktifkan. Kemudian, peranti *bluetooth* perlu dihidupkan melalui aplikasi MIT Inventor di telefon pintar untuk membuat sambungan komunikasi *wireless* dengan *bluetooth module* pada SGSMR. Selepas sambungan komunikasi berjaya diaktifkan, maka robot boleh dikawal pergerakannya dengan menggunakan *remote control* yang dibangunkan menggunakan MIT Inventor. Litar *motor driver* RZ7886 akan menggerakkan DC *worm geared motor* yang disambung dengan tayar robot belakang untuk bergerak mengikut arahan *MIT Inventor remote control* samada ke hadapan, ke belakang, ke kanan atau ke kiri.



Rajah 4: Carta alir proses dan kendalian SGCMR

Pada masa yang sama jika ada beban dimasukkan ke dalam bakul SGCMR, *load cell sensor* akan membaca berat muatan tersebut dan memaparkan nilai berat muatan pada paparan LCD. Jika, berat muatan melebihi 1 kg seperti yang ditetapkan, LCD akan memaparkan berat beserta notifikasi “OVERLOAD” dan *buzzer* akan berbunyi.

3.7 Pemasangan, Pengujian dan Penambahbaikan

Fasa terakhir dalam pembangunan SGCMR adalah fasa pemasangan, pengujian dan tambahbaik selepas pengujian. Pengujian perlu dilakukan bagi memastikan bahawa produk yang dibangunkan dapat berfungsi dengan baik dan memenuhi semua kehendak dan objektif kajian. Terdapat beberapa siri pengujian dilakukan iaitu pengujian litar dan komponen, pengujian aturcara berserta litar, pengujian kestabilan, kekukuhan dan kelancaran pergerakan robot dan terakhir sekali pengujian

keseluruhan sistem. Rajah 5 menunjukkan pengujian litar PCB sebelum ia dipasang pada badan robot seperti dalam Rajah 6.



Rajah 5: Pengujian Litar PCB



Rajah 6: Pemasangan Litar pada Prototaip

4.0 DAPATAN DAN ANALISIS DATA

Beberapa siri ujilari telah dilakukan bagi memastikan bahawa projek SGCMR ini dapat berfungsi dengan betul, lancar dan mencapai objektif-objektif kajian. Ini termasuk pengujian litar, aturcara, ketahanan mekanikal, kestabilan, pergerakan robot dan pengujian keseluruhan sistem. Data-data hasil pengujian dikutip secara kolektif dan direkod dalam bentuk gambar dan jadual dapatan.

4.1 Dapatan Pengujian Litar

Pengujian litar dilakukan adalah untuk memastikan papan litar PCB berfungsi dengan baik dan mendapat bekalan kuasa secukupnya. Ujilari litar dilakukan dengan menggunakan multimeter untuk memeriksa sambungan agar tiada yang terputus. Hasil dapatan pengujian ini didapati litar PCB tersebut berfungsi dengan baik dengan bacaan voltan yang betul. Jadual 3 menunjukkan dapatan pengujian pada bahagian masukan dan keluaran papan PCB. Terdapat dua bahagian pengujian. Yang pertama adalah pengujian pada masukan dan keluaran bekalan kuasa 5V DC yang dibekalkan kepada litar kawalan ESP32, *load cell sensor*, *buzzer* dan LCD. Yang kedua adalah pengujian pada masukan dan keluaran bekalan kuasa 12V DC yang dibekalkan kepada dua litar RZ7886 *motor driver* dan dua DC *worm gear motor*. Daripada dapatan bacaan dalam Jadual 3 didapati bahawa bacaan bekalan kuasa bagi 5V dan 12V pada keluaran adalah sama seperti masukkan. Ini menunjukkan tiada litar yang terputus dan motor DC berfungsi dengan baik.

Jadual 3

Dapatan pengujian litar PCB

Bekalan Kuasa	Bacaan Voltan Masukan, Vin	Bacaan Voltan Keluaran, Vout	CATATAN
Bekalan kuasa 5V DC	5.0 V	5.0 V	Bekalan kuasa 5V DC diberikan kepada papan PCB bahagian litar pengawal ESP32, <i>load cell sensor</i> , <i>buzzer</i> dan LCD.

Bekalan kuasa 12V DC	12.0 V	12.0 V	Bekalan kuasa 12V DC diberikan kepada papan PCB bahagian litar motor driver, dan DC worm gear motor.
-------------------------	--------	--------	--

4.2 Dapatan Pengujian Aturcara dan Litar Beban Muatan

Bagi menguji aturcara dan litar yang telah dibangunkan, aturcara-aturcara tersebut telah dimuatnaik ke dalam IC microcontroller ESP32 dan penyambungan litar-litar kepada bekalan kuasa telah dilakukan. Hasil pengujian tersebut didapati kesemua input dan output berfungsi dengan baik. Apabila berat muatan kurang daripada 1kg, *load cell sensor* akan mengesan berat muatan dan seterusnya bacaan berat muatan akan dipaparkan pada papan LCD seperti dalam Rajah 7. Namun begitu, apabila berat muatan melebihi 1kg, LCD akan memaparkan bacaan berat muatan beserta notifikasi ‘OVERLOAD’ bagi memberi amaran kepada pengguna bahawa terlebih muatan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 8. Pada masa yang sama, *buzzer* juga akan berbunyi. Hasil-hasil dapatan ini menunjukkan bahawa aturcara yang dibangunkan adalah berjaya, dengan pemasangan litar yang betul dan litar berfungsi dengan baik.



Rajah 7: Paparan LCD berat muatan < 1kg



Rajah 8: Paparan LCD berat muatan > 1kg

4.3 Dapatan Pengujian Keseluruhan Sistem

Robot ini bergerak menggunakan *motor driver* yang dibuat sendiri dengan menggunakan IC RZ7886. Dua IC ini digunakan untuk menggerakkan dua DC *worm gear motor* yang dipasang di bahagian belakang robot. Pada permulaan kajian, sebanyak empat biji motor digunakan untuk menggerakkan robot. Namun begitu, robot tersebut mengalami kesukaran untuk membuat pusingan U walaupun berat badan robot telah dikurangkan. Selepas membuat ujikaji dan pemerhatian kepada sistem troli barang, dua biji motor pada bahagian hadapan robot telah digantikan dengan sebiji tayar jenis *castor wheel* yang bebas bergerak, barulah robot dapat membuat pusingan U dan bergerak dengan lancar.



Rajah 9: Hasil Akhir Sistem SGCMR

Bagi menguji kestabilan dan kefungsiian keseluruhan sistem robot, satu ujilari telah dilakukan. Ujilari yang dilakukan termasuklah menguji jarak sambungan komunikasi *bluetooth*, ujian ketahanan, kestabilan dan kelancaran pergerakan robot serta ujian sistem amaran muatan. Ujian dilakukan pada beberapa jarak dan beberapa jenis muatan yang berbeza berat pada permukaan lantai yang agak rata. Dapatan pengujian adalah seperti dalam Jadual 4.

Jadual 4

Dapatan pengujian kesuluruhan sistem

Jarak Bluetooth (m)	Paparan Berat Muatan (gm)	Notifikasi Penggera	Pergerakan robot
5 m	138.2 gm	Buzzer tidak berbunyi	Stabil, lancar, laju
10 m	138.2 gm	Buzzer tidak berbunyi	Stabil, lancar, laju
15 m	138.2 gm	Buzzer tidak berbunyi	Stabil, lancar, laju
15 m	1157.2 gm	Buzzer berbunyi, paparan "OVERLOAD"	Stabil, lancar, sederhana laju
15 m	3042.1 gm	Buzzer berbunyi, paparan "OVERLOAD"	Stabil, lancar, kurang laju
15 m	5208.7 gm	Buzzer berbunyi, paparan "OVERLOAD"	Stabil, lancar, kurang laju

Hasil daripada pengujian di atas, didapati robot ini mampu bergerak dengan membawa beban melebihi dari 5 kg tanpa tercabut atau terputah di bahagian motor dan tayar. Material robot yang dipilih juga tahan lasak dan tidak mudah pecah walaupun beban melebihi 5 kg. Sistem bluetooth juga mampu berfungsi dengan baik pada jarak 15 meter tanpa terputus komunikasi antara robot dan MIT Inventor

controller. Selain itu, sistem amaran lebih muatan juga berfungsi baik apabila beban melebihi 1 kg dikesan. Hasil dapatan juga menunjukkan kelajuan pergerakan robot menurun seiring dengan pertambahan berat muatan. Namun begitu, pergerakan robot masih stabil dan lancar selagi mana permukaan lantai tidak terlalu berbonggol atau berlopak. Prestasi pergerakan robot akan menurun jika permukaan lantai adalah tidak rata dan ada pertambahan beban muatan. Walaubagaimanapun, masalah tersebut cuba diatasi dengan menggunakan tayar getah yang lebih mencengkam.

Secara keseluruhan, kaedah kawalan robot menggunakan aplikasi bluetooth MIT Inventor seperti SGCMR adalah lebih mudah, lebih murah dan praktikal dikawal berbanding menggunakan kaedah automatik seperti kajian-kajian terdahulu kerana pengguna sendiri dapat mengawal laluan pergerakan robot tanpa perlu risau perlanggaran objek halangan. Kaedah kawalan menggunakan "remote control" juga sesuai untuk aplikasi yang memerlukan robot bergerak pada laluan yang bebas berbanding robot jenis AGV yang telah ditetapkan laluan. Selain itu, dengan menggunakan teknologi komunikasi bluetooth, komunikasi antara robot dan operator tidak mudah putus dan boleh digunakan kawasan yang mempunyai liputan internet yang perlahan seperti di kawasan pedalaman yang terpencil.

5.0 PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN

Daripada hasil dapatan beberapa siri pengujian SGCMR, didapati bahawa robot ini dapat berfungsi dengan baik dan mencapai semua objektif kajian. Robot SGCMR berjaya membaca berat muatan yang dibawa pada paparan LCD dan jika berat muatan melebihi had yang ditetapkan, *buzzer* akan berbunyi dan LCD akan memaparkan "OVERLOAD". Robot ini juga dapat bergerak dengan lancar dan stabil pada permukaan yang agak rata walaupun muatan yang dibawa melebihi 5 kg, tanpa tercabut atau terputah di bahagian motor dan tayar. Hasil dapatan ini jelas menunjukkan bahawa sistem SGCMR berjaya memenuhi kehendak kajian iaitu untuk menghasilkan sebuah *load-carrying mobile robot* yang berskala kecil, lebih murah kosnya, tidak kompleks, tetapi masih boleh mengangkat barang dan meringankan beban kerja manusia.

Dari segi penggunaan tenaga pula, didapati produk SMGCR tidak menggunakan jumlah tenaga yang terlalu tinggi untuk beroperasi. Hasil daripada pengiraan jumlah penggunaan tenaga dan kos elektrik, didapati anggaran penggunaan tenaga dalam sebulan hanyalah 13.33512 kWh sahaja dan ia terlalu rendah. Ini menunjukkan bahawa, SGCMR bukan sahaja efisien dari segi penjimatan tenaga buruh, tetapi juga menjimatkan tenaga elektrik serta mesra alam. Dijangka bekalan kuasa robot ini mampu bertahan lebih dari 3 hari dengan penggunaan maksimum 12 jam sehari. Walaubagaimanapun, bateri LiPo dan Lithium yang digunakan adalah jenis *rechargeable battery* yang boleh dicas semula.

Kesan pembinaan SGCMR kepada manusia pula, ia mampu membantu orang ramai terutama golongan yang kurang upaya untuk membawa muatan barang bagi meringankan beban kerja manusia. Selain daripada dapat menjimatkan tenaga manusia, ia juga dapat menjimatkan kos tenaga buruh apabila

tenaga manusia tidak lagi diperlukan untuk mengangkut barang berulang-ulang kali. Kesannya, ia boleh mengurangkan risiko kecederaan dan kesihatan kepada tubuh badan manusia, disamping dapat mengurangkan kos buruh.

Namun hal demikian, sistem SGCMR juga mempunyai beberapa kekangan seperti terhad kepada jarak kawalan maksimum 50 meter sahaja, maka ia tidak sesuai untuk aplikasi jarak jauh. Selain itu, beban maksimum yang boleh dibawa hanya 5 kg sahaja dan robot juga bergantung kepada jangka hayat bateri. Pergerakan robot juga terbatas dengan permukaan lantai jalan. Jika permukaan lantai terlalu berlopak atau berbonggol, robot mengalami kesukaran untuk membawa muatan yang lebih berat.

Justeru itu, untuk penambahbaikan pada masa hadapan, dicadangkan untuk ditambah kapasiti berat muatan kepada 10 kg, bakul pembawa barang direkabentuk semula agar sesuai membawa muatan yang bersaiz besar, saiz tayar getah ditambah kelebarannya untuk lebih kestabilan jika melalui permukaan yang tidak rata dan juga mungkin boleh menghasilkan autonomous robot bagi fungsi sistem robot automatik.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahawa kajian SGCMR telah berjaya mencapai kesemua objektif-objektif kajian, berjaya beroperasi dengan baik, mampu memberi banyak manfaat kepada masyarakat dan juga dapat menyumbang kepada Revolusi Industri 4.0 (IR 4.0) negara. Dengan kos pembinaan yang tidak terlalu tinggi berbanding dengan produk robot komersil di pasaran, dijangka produk SGCMR ini mampu dikomersilkan untuk kegunaan pengguna pada skala yang kecil seperti suri rumah, pengutip bola tennis, pekebun-pekebun kecil dan lain-lain lagi kegunaan yang tidak terlalu besar.

RUJUKAN

Alfaozan Imani Muslim (2022). *Definisi Robot*. Advance online publication. <https://www.researchgate.net/publication/364315540>

ISO 8373:2021(2021). *Robotic Vocabulary*. Edisi ketiga. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75539/1bc8409322eb4922bf680e15901852d2/ISO-8373-2021.pdf>

Kamal, P. & Upputuri Hari Babu (2021). Intelligent Goods Carrier Robot. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 9(1). <https://ijcrt.org/papers/IJCRT2101359.pdf>

Muhammad Amnan Hibrahim (2021, Oktober 13). 70 peratus petani berusia lebih 60 tahun. *Sinar Harian*. <https://www.google.com/amp/s/www.sinarharian.com.my/ampArticle/166664>

Nor Azlina Kassim (2020). *Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0): Apa yang Patut Anda Ketahui?*. Dimensi Koop. Bil 64. ISSN:1823-1586. <https://www.ikma.edu.my/images/dokumen/penerbitan/dimensi/dimensi-koop-64/64-7.pdf>

Nur Izzati Abdullah (2007). *Automated Food Attendance Robot* [Degree's thesis, Universiti Malaysia Pahang]. UMPSA Research and Publication. <http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/572/>

Nurul Asdaq Abdul Halim (2023). *Wireless Autonomous Carrying Robot* [Diploma's thesis, Politeknik Salahuddin Abdul Aziz Shah]. PSA repository. <http://repository.psa.edu.my/handle/123456789/4543>

Physiogo Physiotherapy Rehab Center (2018). *7 Teknik Yang Betul Semasa Mengangkat Barang*. Physiogo website. <https://physiogo.com.my/>

Prabhakaran S., Barath Krishna G., Yugeshkrishnan M. & Vishwa Priya V. (2021). Autonomous Goods Carrier for Household Applications. *Natural Volatiles & Essential Oils Journal (NVEO)*, 8(5). <https://www.nveo.org/index.php/journal/article/view/881>

Robot (n.d). Dalam Kamus Pelajar Dewan Bahasa dan Pustaka Edisi ke4. <https://prpm.dbp.gov.my>

Yudi Irawan Chandra, Irfan, & Anargya Satya Rifisyah Putro (2022). Cargo Simulation Robot Prototype with Bluetooth Based Motor Driver Shield Using Arduino Uno Microcontroller. *International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR)*, 4(1), 1-8. <http://dx.doi.org/10.25139/ijair.v4i1.4326>

U.S Department of Labor (2025). *Ergonomic Hazards Workbook*. Occupational Safety and Health Administration website. https://www.osha.gov/sites/default/files/2018-12/fy15_sh-27643-sh5_ErgonomicsWorkbook.pdf