

ANALISIS UJIKAJI SPESIFIKASI PRESTASI ROBOT INDUSTRI IRB-2400

Musa Mailah
Azamkhairi Ab Razak

Jabatan Mekanik Gunaan
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia
81310 Skudai, Johor
Email: musa@fkm.utm.my

ABSTRAK

Kertas kerja ini memaparkan hasil satu kajian ujikaji prestasi yang dijalankan terhadap satu robot industri IRB-2400. Ujikaji dilakukan dengan tujuan untuk melihat keberkesanan robot melaksanakan beberapa tugas yang diarahkan terhadap perubahan atau pengaruh daripada beberapa spesifikasi prestasi robot yang diuji. Dalam hal ini, kesan perubahan kelajuan, peleriaan dan beban bayar robot diuji terhadap kejutuan dan kebolehulungan robot yang terhasil. Robot diarahkan untuk menjejak trajektori tertentu secara berulang kali dan prestasinya dinilai melalui analisis ralat terhasil. Beberapa perkara yang berkaitan dengan tatacara ujikaji juga dijelaskan dalam kertas kerja ini. Ini melibatkan proses pengaturcaraan robot menggunakan bahasa RAPID serta penerangan tentang radas yang digunakan di dalam ujikaji tersebut. Hasil keputusan ujikaji turut dianalisis serta dibincangkan di bahagian akhir kertas kerja ini.

1.0 PENGENALAN

Robot boleh diterangkan sebagai suatu hasil perkembangan teknologi yang berasaskan kepada sistem mekatronik yang melibatkan kesepaduan bidang mekanikal, elektrik dan elektronik serta kawalan berkomputer. Mengikut takrifan yang telah diterjemahkan dan yang dikeluarkan oleh *RIA (Robotics Industries Association)* [1], robot industri adalah 'suatu pengolah yang boleh diaturcara secara berulang serta mempunyai pelbagai fungsi, direkabentuk untuk memindahkan bahan, barang, peralatan atau peranti khusus menerusi pelbagai pergerakan yang diaturcara bagi melaksanakan pelbagai tugas yang diarahkan'. Para pengkaji dari Jepun pula menakrifkan robot dengan lebih umum iaitu sebagai 'sebarang peranti yang menggantikan tenaga buruh manusia' [2]. Walau bagaimanapun, kesemua takrifan ini menekan kepada beberapa perkara asas yang terdapat pada robot industri. Perkara asas ini boleh dibahagi kepada dua iaitu yang bersifat jelas dan nyata manakala yang satu lagi adalah tersirat. Aspek yang jelas adalah dari segi kewujudan fizikal robot merangkumi lengan mekanikal robot, kotak kawalan dan seumpamanya serta keupayaannya untuk melakukan pelbagai tugas dan operasi melalui pelbagai gerakan yang diarahkan melalui

kaedah pengaturcaraan. Bagi yang tersirat pula, ianya merujuk kepada sistem elektrik, elektronik dan kawalan berkomputer yang bertindak sebagai 'otak' dan 'nadi' kepada pergerakan serta pengendalian robot secara berkesan. Ringkasnya, robot industri merupakan satu perwakilan sistem mekatronik yang baik dan jelas dapat membantu manusia dalam melaksanakan pelbagai tugas pengolahan dan pengendalian bahan kerja (terutama sekali dalam suasana atau persekitaran yang berkaitan dengan industri pembuatan dan perkilangan) dengan sungguh berkesan.

Kertas kerja ini adalah berkaitan dengan kajian ujikaji prestasi yang dijalankan terhadap satu robot industri *IRB-2400* melibatkan keupayaannya beroperasi dengan memerhatikan kesan daripada kejituan, kebolehlungan, kelajuan, peleraian serta beban bayar terhadap prestasi sistem robot. Kajian seumpama ini ada dibuat dan dinyatakan dalam [3] tetapi robot yang digunakan dalam kajian tersebut merupakan robot untuk pembelajaran – bersaiz kecil dan terdapat kekurangan yang ketara berkaitan dengan prestasi di dalam sistem robot tersebut berbanding dengan robot industri sebenar. Dalam kertas kerja ini, penerangan ringkas tentang prinsip asas robot diberikan pada peringkat awal. Ini diikuti oleh pengenalan kepada robot industri *IRB-2400*. Di sini, beberapa perkara berkaitan dengan sistem fizikal robot serta spesifikasi robot sebenar berdasarkan maklumat dari pengeluar robot itu sendiri dinyatakan. Kaedah ujikaji diterangkan seterusnya disusuli dengan pembincangan serta analisis hasil keputusan ujikaji dan diakhiri dengan kesimpulan.

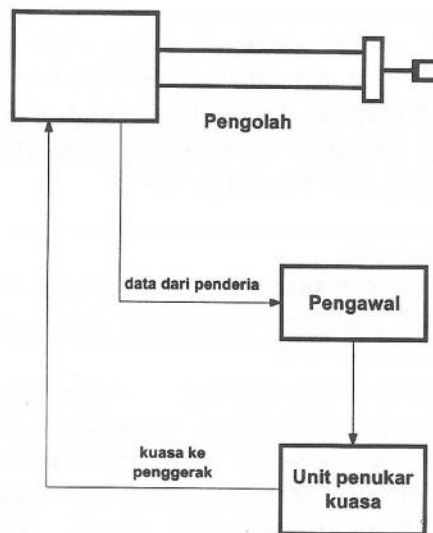
2.0 ASAS ROBOTIK

2.1 Anatomi Robot

Anatomi robot adalah bahagian fizikal yang terlibat dalam pembinaan robot. Bahagian fizikal robot ialah badan, lengan dan pergelangan. Badan biasanya dipasang pada tapak yang ditanam kekal pada lantai. Lengan robot dipasang pada badan robot dengan pergelangan terletak di hujungnya. Pergelangan terdiri daripada beberapa komponen yang membolehkannya berada pada pelbagai kedudukan. Pergerakan bandingan antara badan, lengan, dan pergelangan dihasilkan oleh sendi. Pemasangan badan, lengan, dan pergelangan ini membentuk pengolah. Pada kebiasaannya pada hujung pergelangan pengolah dipasang alat pengesan hujung berupa penggenggam atau perkakas.

2.2 Komponen Robot

Sebagaimana diterangkan sebelum ini bahawa sistem robot merupakan suatu sistem mekatronik yang lengkap. Robot industri terdiri daripada pengolah (mekanikal), penderia dan penggerak (elektrikal dan elektronik) dan pengawal (kawalan berkomputer). Komponen-komponen ini saling berkait antara satu sama lain. Rajah 1 menunjukkan aliran isyarat bagi komponen robot yang terbabit.



Rajah 1 Hubungan setiap komponen robot

Secara khususnya, komponen robot diperjelaskan sebagai berikut:

i. Pengolah

Pengolah adalah terdiri dari beberapa hubungan mekanikal dan sendi yang membolehkan pergerakan pelbagai arah dilakukan. Pengesan hujung dipasang pada hujung lengan untuk melakukan pelbagai tugas tertentu seperti menggenggam, menggerudi, mengimpal dan lengan vakum. Peranti suapbalik dipasang pada bahagian tertentu pengolah untuk menentukan kedudukannya. Suis had digunakan untuk pergerakan robot 'ambil dan letak' atau penderia kedudukan seperti pengkod dan meter upaya bagi kes robot kawalan servo. Lengan dan sendi biasanya dipacu oleh penggerak hidraulik atau pneumatik.

ii. Pengawal

Pengawal berfungsi mengawal pergerakan pengolah melalui antaramuka dengan peranti suapbalik. Ia boleh melakukan aritmatik kompleks untuk mengawal laluan, laju dan kedudukan. Antara contoh pengawal yang digunakan dalam pengawalan robot ialah penjujuk langkah, pengawal logik boleh aturcara (*PLC-programmable logic controller*), dan sistem mikro komputer mengikut kecanggihan robot. Tiga fungsi utama robot ialah:

- Menyimpan aturcara dalam ingatan, termasuk data jujukan dan kedudukan.
- Untuk memulakan dan menamatkan pergerakan pengolah mengikut jujukan kehendak dan di titik kehendak
- Untuk diantaramuka dengan peranti luar.

iii. Penderia

Penderia mengesan kedudukan dan halaju pengolah serta objek di pengesan hujung semasa robot beroperasi. Maklumat ini adalah penting untuk suapbalik ke

bahagian pengawal robot untuk diproses oleh komputer bagi tindakan selanjutnya. Sistem mesin penglihatan semakin kerap dipakai sebagai 'mata' kepada robot. Di samping itu, tindakan pengesan hujung terhadap persekitaran termasuk daya-daya gangguan melibatkan penggunaan penderia daya yang dipasang pada penggenggam dan alat perkakas.

iv. Penggerak dan pacuan

Pengolah memerlukan mekanisme penggerak untuk membolehkan ia bergerak bagi melakukan tugas. Tiga jenis penggerak yang biasa digunakan ialah sistem hidraulik, pneumatik dan elektrik.

Sistem hidraulik biasanya digunakan pada robot bersaiz besar yang melibatkan kelajuan dan kuasa yang tinggi. Sistem hidraulik memerlukan ruang yang besar disebabkan saiznya yang besar dan penggunaan komponen yang banyak serta kompleks. Keadaan ini menyebabkan sistem ini mahal di samping penggunaan sistem kuasa dan injap servo yang agak canggih. Selain itu kebocoran mudah berlaku dan menyebabkan persekitaran robot menjadi kotor. Untuk pergerakan lurus sistem silinder dan ombok digunakan dan gerakan putaran boleh dihasilkan oleh penggerak ram putaran.

Sistem elektrik pula digunakan kerana kejituan dan kebolehulangannya yang baik berbanding dengan sistem hidraulik. Kelajuan dan kuasanya kurang daripada robot yang menggunakan sistem hidraulik. Sistem ini lebih kecil dan selalunya digunakan untuk kerja yang memerlukan ketepatan seperti kerja pemasangan. Penggerak yang biasa digunakan ialah motor pelangkah arus terus dan motor servo arus terus atau arus ulang-alik. Ia sesuai untuk pergerakan putaran dan untuk gerakan lurus, sistem takal atau mekanisme pengubah yang lain.

Prinsip operasi bagi sistem pneumatik adalah sama seperti sistem hidraulik. Ia biasa digunakan pada robot kecil dengan darjah kebebasan yang kecil. Sistem ini terhad kepada operasi 'ambil dan letak' dengan kadar yang laju.

2.3 Spesifikasi Prestasi Robot

Pada umumnya, terdapat beberapa spesifikasi prestasi bagi sesebuah robot industri yang perlu dipertimbangkan [4]. Semua spesifikasi ini adalah penting bagi pembeli robot kerana melalui spesifikasi ini, pengguna dapat mengetahui prestasi bagi robot yang akan dibeli dan menyesuaikan robot tersebut dengan tugas yang hendak dibuat. Antara spesifikasi prestasi bagi sebuah robot industri ialah:

i. Beban bayar

Beban bayar ialah beban yang mampu ditanggung oleh pengesan hujung robot. Beban bayar dipengaruhi oleh faktor berat beban, bentuk beban dan jarak beban dengan tapak atau paksi gerakan robot. Keupayaan beban bayar pada hujung lengan berbeza apabila kedudukan beban dekat dengan tapak berbanding kedudukan lengan maksimum.

ii. Kejituan

Kejituan bagi robot ialah keupayaan robot meletakkan pengesan hujung ke sasaran yang dikehendaki oleh pengguna dengan ralat yang minimum.

iii. Kebolehulangan

Kebolehulangan ialah kebolehan robot untuk kembali ke kedudukan yang sama seperti yang telah diajar atau yang telah diaturcara setiap kali ia melaksanakan tugas yang sama.

iv. Peleraian

Peleraian ialah tokokan pergerakan terkecil yang mampu dibuat oleh robot. Peleraian dihubungkan dengan julat pergerakan lengan, keupayaan penderia dan keupayaan storan bit dalam ingatan pengawal.

v. Liputan/Isipadu kerja

Ruang kerja ialah ruang dimana robot boleh mengolah pengesan hujungnya. Ia juga boleh ditakrifkan sebagai capaian atau jangkauan maksimum yang dapat dibuat oleh lengan robot.

vi. Kelajuan

Kelajuan ialah gerakan yang dapat dibuat oleh robot dalam tempoh tertentu dan ia bergantung kepada jenis penggerak robot yang digunakan. Robot yang baik ialah robot yang dapat diubah-ubah kelajuannya mengikut kehendak pengguna.

vii. Pematuhan

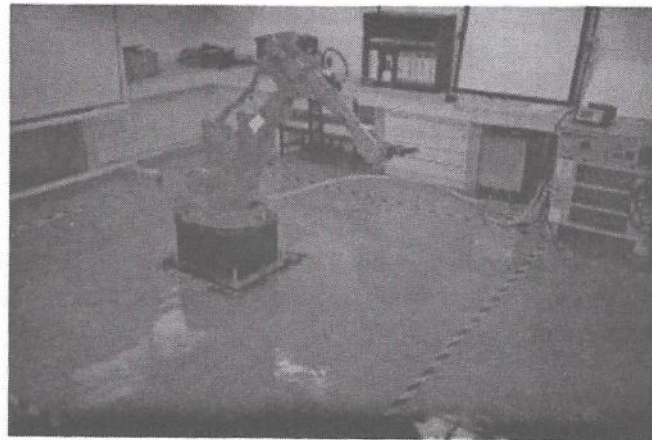
Pematuhan ialah pergerakan robot pada ruang tetap apabila bertindak balas kepada daya yang dikenakan. Pematuhan yang tinggi bermaksud robot bergerak dengan banyak apabila daya yang dikenakan adalah kecil.

3.0 ROBOT INDUSTRI *IRB-2400*

Robot ini dikeluarkan oleh syarikat **ABB** dari Sweden [5]. Robot industri ini berjenis lengan sendi sama seperti lengan manusia dan mempunyai enam paksi pergerakan (enam darjah kebebasan). Tiga paksi pergerakan berkaitan dengan pergerakan pengolah manakala tiga lagi terdapat pada alat penggenggam robot. Robot fizikal terdiri daripada pengolah beserta pengesan hujung (penggenggam) disambung melalui satu sistem kabel kepada kotak pengawal seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.

Robot ini boleh dikawal secara pengaturcaraan pandu terus dan secara pengaturcaraan di luar talian. Kawalan secara pengaturcaraan pandu terus dikawal dengan menggunakan pendan ajar seperti pada Rajah 3. Dalam kaedah pengaturcaraan pandu terus, pergerakan robot dilakukan dengan secara manual iaitu dengan menggunakan pendan ajar. Setiap pergerakan sendi robot akan direkodkan di dalam memori pengawal robot. Kotak pengawal robot ***IRB-2400***

adalah seperti ditunjukkan pada Rajah 3. Apabila semua pergerakan sudah selesai disimpan, pengawal akan bertindak menggerakkan robot mengikut jujukan nilai sendi tersebut. Dengan menggunakan pendan ajar, robot boleh digerakkan melalui dua cara iaitu, pergerakan mengikut sistem koordinat X,Y, dan Z atau pergerakan paksi-paksi gerakan robot dengan setiap pergerakan paksi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 dikawal secara berasingan.



Rajah 2 Kelihatan pengolah dan kotak pengawal robot *IRB-2400* dihubungkan melalui kabel

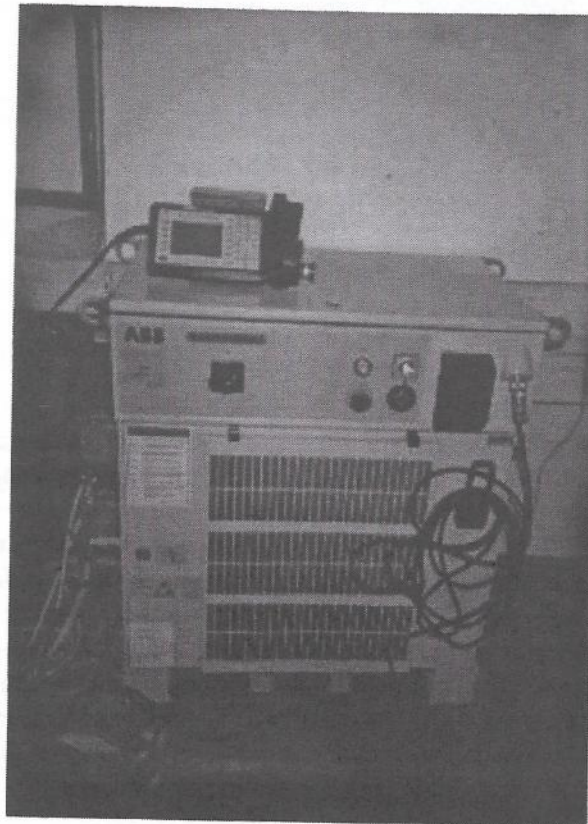
Dalam kaedah pengaturcaraan di luar talian, pengaturcaraan robot dilakukan tanpa melibatkan robot fizikal. Pengaturcara hanya perlu menulis aturcara menggunakan mana-mana komputer (PC) melalui perisian pemproses perkataan atau penyunting teks dengan mengambil kira data pergerakan robot yang diperlukan dan kemudiannya menyimpan aturcara tadi dalam bentuk fail pada disket. Fail ini seterusnya disalin dan dipindahturun ke dalam memori pengawal robot dan selepas itu robot pula diaktifkan. Robot akan bergerak tepat mengikut aturcara yang telah dibuat sebelum ini. Dalam kaedah ini, pengguna perlu mengetahui model kinematik dan geometri robot secara tepat. Bagi robot industri *IRB-2400*, bahasa pengaturcaraan yang digunakan ialah *RAPID* yang berasaskan kepada bahasa pengaturcaraan C.

4.0 SPESIFIKASI PRESTASI ROBOT *IRB-2400*

Jadual 1 menunjukkan sebahagian spesifikasi prestasi yang dinyatakan oleh pengeluar robot industri *IRB-2400* [5].

Jadual 1 Ringkasan sebahagian spesifikasi prestasi robot *IRB-2400* [5]

Beban bayar	10 kg
Jangkauan	1.5 m
Ofset beban	100/100 mm
Kebolehulangan posisi	± 0.06 mm
Kebolehulangan posisi tak terus	0.06 mm
Kebolehulangan laluan	0.14-0.25 mm
Kejituan laluan	0.045-1.0 mm
Masa minimum ke posisi	0.2-0.35 s (di atas laluan 35 mm)



Rajah 3 Pendan ajar robot terletak di atas kotak pengawal robot *IRB-2400*

5.0 UJIKAJI PRESTASI *IRB-2400*

Bagi robot industri *IRB-2400*, kajian yang dijalankan adalah untuk melihat prestasi kejituan serta kebolehulangan bagi titik dan laluan robot disebabkan oleh kesan kelajuan, peleraian dan beban bayar robot.

5.1 Kaedah Ujikaji

Dalam kajian ini, terdapat tiga jenis ujikaji yang telah dijalankan. Radas ujikaji yang terlibat adalah sistem lengkap robot industri *IRB-2400*, pemegang pen (berserta pen) yang direka khas [6]; kertas graf, meja kerja dan satu set jisim (beban) dengan pemegang beban. Perlu diperhatikan agar keselamatan pengguna diutamakan pada setiap masa semasa ujikaji dijalankan. Jika tidak ada keperluan, pengguna mesti berada di luar petak yang ditanda dengan garisan kuning, iaitu di luar liputan isipadu kerja robot. Rajah 4 menunjukkan bagaimana ujikaji dapat dijalankan.



Rajah 4 Sebahagian radas ujikaji ditunjukkan

i. Ujikaji 1

- *Kesan kelajuan robot terhadap kejituan dan kebolehulangan robot*

Ujikaji 1 ialah berkaitan dengan kesan kelajuan terhadap kejituan dan kebolehulangan (titik dan laluan) robot dengan peleraian robot dibiarkan tetap. Dalam ujikaji ini, robot digerakkan untuk melukis bentuk segi empat dengan menggunakan arahan gerakan lurus (*MoveL*) dan melengkung (*MoveJ*). Robot juga diarahkan untuk melukis bentuk bulat dengan menggunakan arahan gerakan membulat (*MoveC*). Kelajuan robot ditambah mengikut pertambahan yang sesuai dan setiap kali kelajuannya berubah, ujikaji ini diulang sebanyak sepuluh kali. Kelajuan diubah mengikut turutan berikut: *v100*, *v200*, *v500*, *v1000*, *v2000*, *v4000* dan *v8000* (*v100* dalam bahasa *RAPID* menunjukkan kelajuan robot pada 100 mm/s).

ii. Ujikaji 2

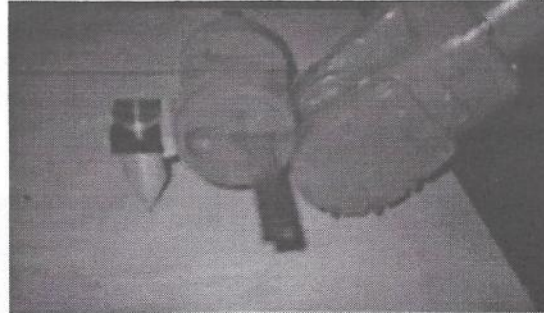
- *Kesan peleraian robot terhadap kejituan dan kebolehulangan robot*

Ujikaji 2 hampir sama dengan ujikaji pertama tetapi pada kali ini, kelajuan robot ditetapkan manakala peleraian robot ditingkatkan mengikut pertambahan yang sesuai. Peleraian berikut digunakan dalam ujikaji ini, iaitu *fine*, *z10*, *z20*, *z30*, *z50* dan *z100*. *Fine* menunjukkan peleraian terkecil dan terbaik yang akan memberikan gerakan yang licin dan lebih sempurna. Sebaliknya, *z100* memberikan peleraian terbesar dan gerakan yang kasar.

iii. Ujikaji 3

- Kesan beban bayar robot terhadap kejituan dan kebolehulangan robot

Bagi Ujikaji 3 pula, kesan beban bayar robot terhadap kejituan dan kebolehulangan robot diuji. Robot diarahkan untuk melukis bentuk segi empat dengan menggunakan arahan gerakan lurus (*MoveL*). Ujikaji ini dibahagikan kepada dua iaitu gerakan robot pada kelajuan tinggi dan juga pada kelajuan rendah. Beban diletakkan pada pengesan hujung robot dan ditingkatkan kepada 2kg, 4kg, 6kg, 8kg dan 10kg bagi setiap ujikaji. Peleraian semasa ujikaji ini dijalankan adalah tetap. Rajah 5 menunjukkan bagaimana beban dipasang pada pengesan hujung robot.



Rajah 5 Kedudukan beban pada pengesan hujung

5.2 Aturcara Robot Bagi Ujikaji yang Dijalankan

Contoh teks pengaturcaraan menggunakan bahasa *RAPID* [7] untuk robot *IRB-2400* dan yang digunakan dalam ujikaji adalah seperti berikut:

MoveL *, v100, fine, tool0

Aturcara di atas adalah berkaitan dengan arahan robot supaya bergerak mengikut gerakan lurus *MoveL* ke koodinat * pada kelajuan *v100*, peleraian *fine* dan menggunakan koodinat perkakas *tool0*.

MoveJ *, v400, z10, tool0

Aturcara di atas adalah berkaitan dengan arahan robot supaya bergerak mengikut gerakan interpolasi sendi *MoveJ* ke koodinat * pada kelajuan *v400*, peleraian *z10* dan menggunakan koodinat perkakas *tool0*.

MoveC, v2000, z100, tool0

Aturcara di atas adalah berkaitan dengan arahan robot supaya bergerak mengikut gerakan membulat *MoveC* ke koodinat * pada kelajuan *v2000*, peleraian *z100* dan menggunakan koodinat perkakas *tool0*.

5.3 Ralat

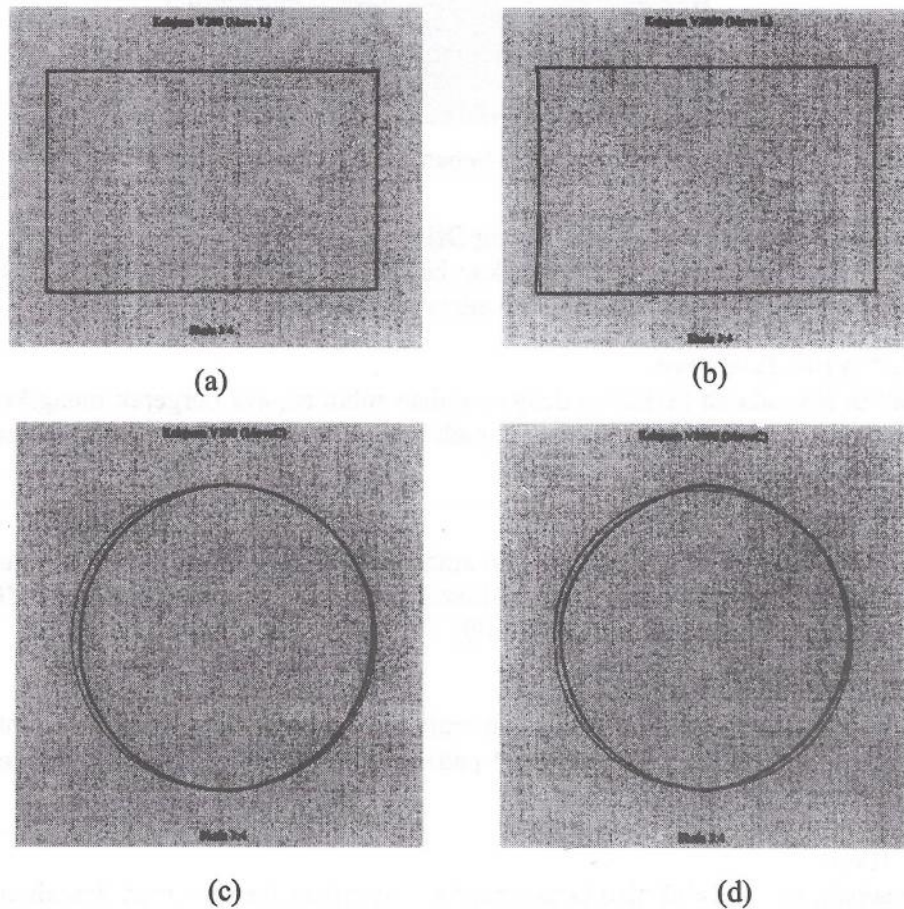
Ralat maksimum bagi titik dan laluan bagi setiap ujikaji diukur untuk dianalisis. Ralat diukur mengikut perbezaan antara titik (dan laluan) sebenar dan titik (dan laluan) rujukan. Ini dapat dilakukan dengan mengirakan ruang luas yang terdapat

kotak-kotak kecil pada kertas graf yang mengandungi keputusan ujikaji (lukisan segi empat dan bulatan). Titik yang dimaksudkan adalah titik di mana tandaan awal dibuat manakala laluan ialah laluan yang dibuat antara titik ke titik.

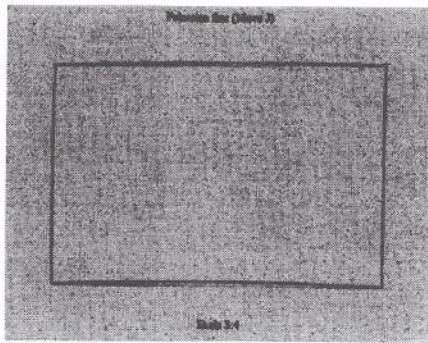
6.0 KEPUTUSAN UJIKAJI, ANALISIS DAN PERBINCANGAN

6.1 Keputusan Ujikaji

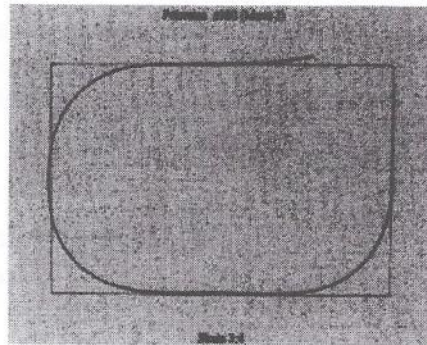
Beberapa keputusan grafik ujikaji diberikan pada Rajah 6 hingga 8 mengikut ujikaji yang dijalankan. Keputusan menunjukkan rajah yang dihasilkan oleh tugas penjejakan pengesan hujung robot berdasarkan keadaan-keadaan tertentu seperti yang dinyatakan dalam kaedah ujikaji berbanding dengan rajah rujukan, iaitu rajah yang seharusnya dilukis secara tepat oleh pengesan hujung robot. Sebarang perbezaan antara keduanya memberikan ralat dan dengan itu boleh menjejaskan kejituan dan kebolehulangan robot. Rajah rujukan diwakili oleh garisan halus sementara rajah terhasil ditunjukkan oleh garisan kasar.



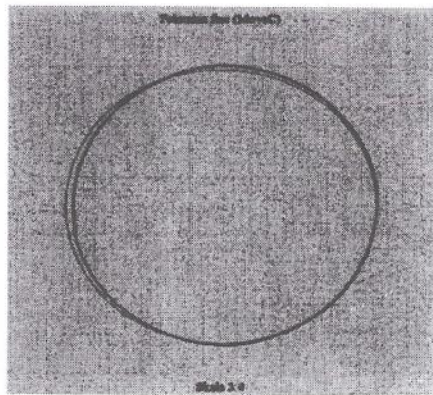
Rajah 6 Sebahagian keputusan Ujikaji 1



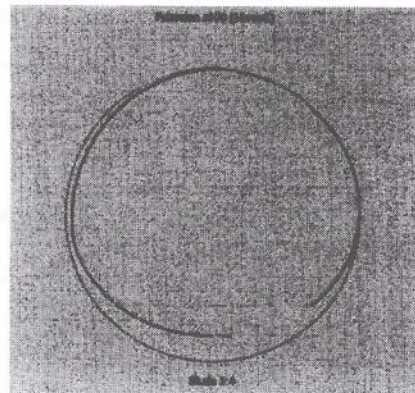
(a)



(b)

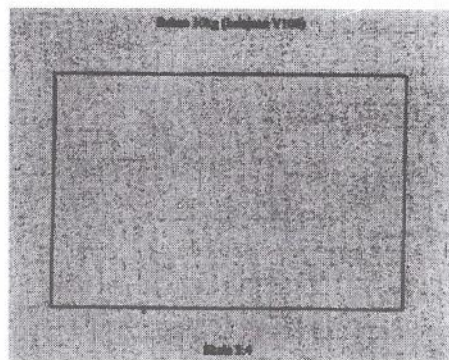


(c)

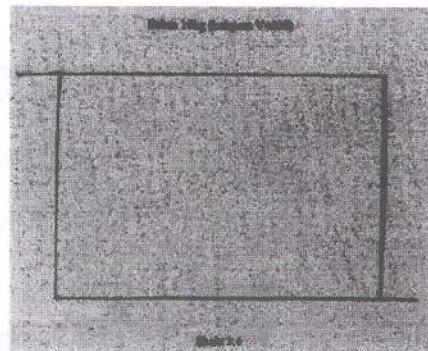


(d)

Rajah 7 Sebahagian keputusan Ujikaji 2



(a)

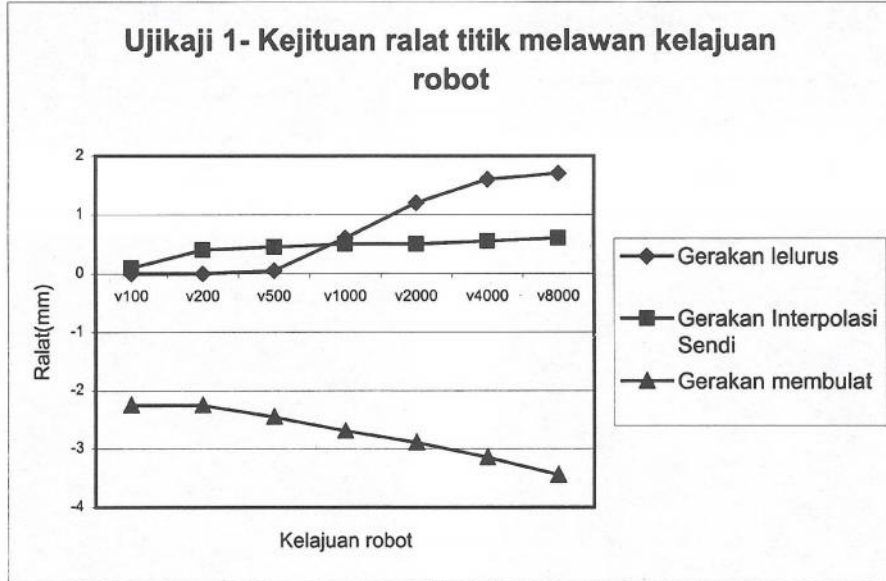


(b)

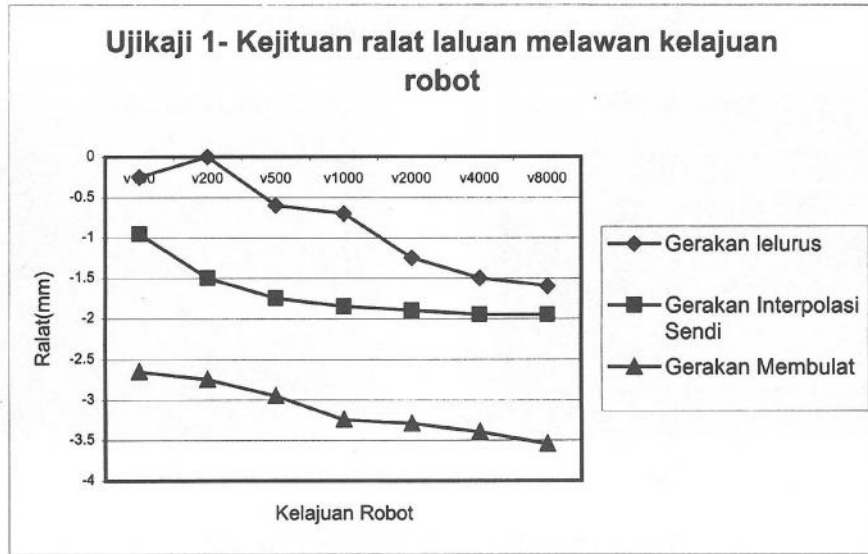
Rajah 8 Sebahagian keputusan Ujikaji 3

6.1.1 Ringkasan keputusan

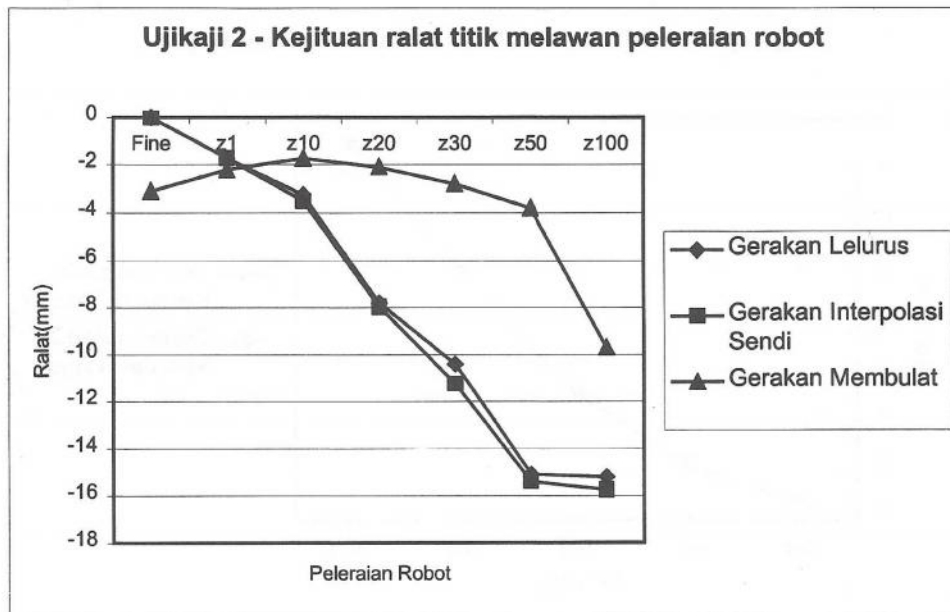
Ringkasan keputusan keseluruhan ujikaji berkaitan dengan kejituan ralat titik dan laluan terhasil yang diperolehi melalui setiap ujikaji bagi keadaan yang berbeza dapat dilihat secara grafik pada Rajah 9 hingga 14.



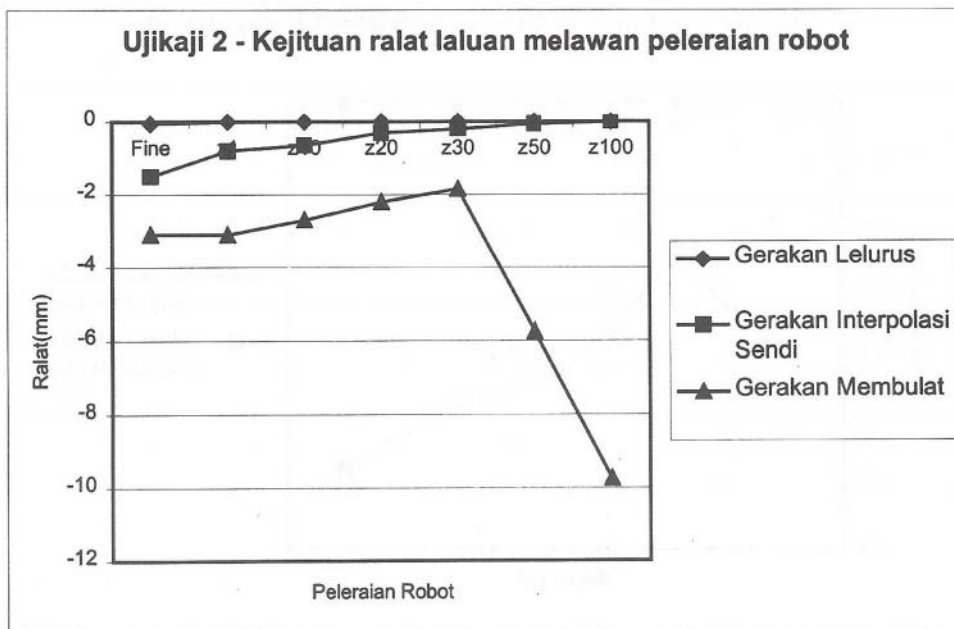
Rajah 9 Graf kejituan ralat titik melawan kelajuan robot bagi Ujikaji 1



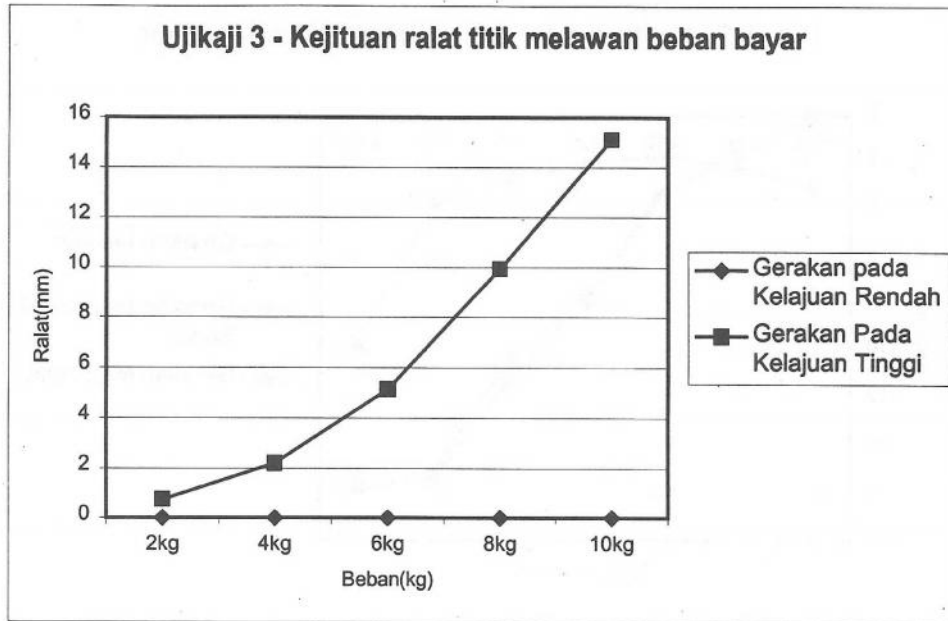
Rajah 10 Graf kejituan ralat laluan melawan kelajuan robot bagi Ujikaji 1



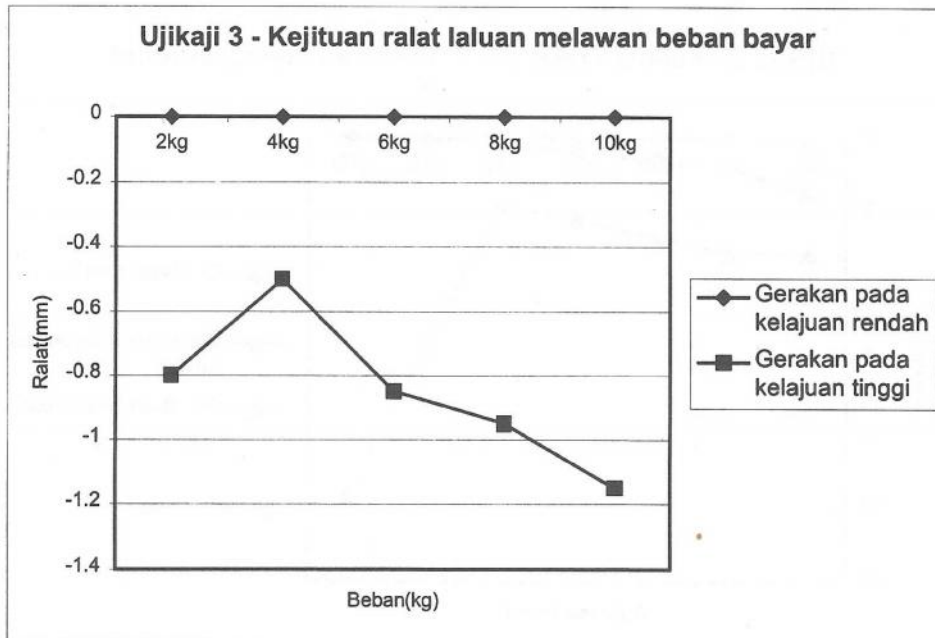
Rajah 11 Graf kejituan titik melawan peleraian robot bagi Ujikaji 2



Rajah 12 Graf kejituan laluan melawan peleraian robot bagi Ujikaji 2



Rajah 13 Graf kejituan ralat titik melawan beban bayar bagi Ujikaji 3



Rajah 14 Graf kejituan ralat laluan melawan beban bayar bagi Ujikaji 3

6.2 Analisis dan Perbincangan

Dari ujikaji yang telah dilakukan, didapati kebolehlungan robot ini adalah sangat baik disebabkan pengesan hujung dapat menepati sasaran setiap kali ia diarahkan untuk menjejak sasaran. Tiada sebarang ralat atau tandaan yang keluar daripada laluan yang dikehendaki walaupun setiap ujikaji diulangi sebanyak sepuluh kali. Walau bagaimanapun, bagi tandaan yang dibuat bagi setiap ujikaji adalah tidak begitu jitu seperti yang ditunjukkan dalam hasil ujikaji. Bagi ujikaji yang menggunakan kaedah gerakan lurus (*MoveL*) didapati semasa kelajuan robot adalah $v100$, tiada ralat bagi kejitian titik dapat dikesan. Apabila kelajuan ditingkat lagi sehingga $v500$, ralat bagi kejitian titik mula wujud dan ianya semakin meningkat apabila kelajuan robot ditingkatkan lagi. Tandaan yang dibuat semasa kelajuan ditingkatkan adalah berada luar daripada rajah rujukan.

Pada kelajuan $v100$, wujud ralat bagi laluan robot iaitu sebanyak 0.25mm, kedalam bahagian dalam rajah. Ini menyebabkan garisan yang dilukis kelihatan sedikit melengkung. Pada kelajuan $v200$ pula, tiada ralat laluan yang dapat dikesan. Walau bagaimanapun, pada kelajuan $v500$, ralat laluan mula terjadi kembali dan semakin meningkat apabila kelajuan ditingkatkan. Ralat yang dilihat ini berada pada bahagian dalam rajah rujukan dan ini mengakibatkan lengkung ke arah dalam rajah semakin membesar.

Bagi Ujikaji 1 yang menggunakan kaedah gerakan interpolasi sendi (*MoveJ*), keadaan yang sama seperti ujikaji yang menggunakan kaedah lurus dapat dilihat untuk kejitian titik. Walau bagaimanapun, nilai ralat yang dapat diperhatikan adalah lebih kecil. Tandaan yang dibuat adalah diluar rajah yang sepatutnya dilukis. Ralat laluan juga semakin meningkat apabila kelajuan robot ditingkatkan. Apabila menggunakan kaedah gerakan interpolasi sendi, nilai ralat laluan didapati lebih besar berbanding dengan laluan yang dilukis menggunakan kaedah gerakan lurus. Ini menyebabkan garisan yang dilukis lebih melengkung ke dalam. Bagi ujikaji yang menggunakan kaedah gerakan membulat (*MoveC*) pula, didapati ralat titik yang dihasilkan adalah semakin membesar apabila kelajuan robot ditingkatkan. Titik yang ditanda berada di dalam lingkungan rajah rujukan. Ralat laluan juga semakin meningkat apabila kelajuan meningkat. Laluan yang dibuat berada di dalam rajah rujukan yang diingini. Ini mengakibatkan lukisan yang terhasil berbentuk bujur.

Bagi Ujikaji 2, didapati kesan peleraian memainkan peranan dalam menentukan kejitian titik dan laluan robot. Bagi pengoperasian robot menggunakan pergerakan lurus, didapati apabila peleraian robot meningkat, kejitian titik robot akan merosot. Ralat titik semakin tinggi di mana tandaan dibuat di dalam rajah yang sepatutnya. Ini menyebabkan bucu tajam segi empat menjadi kambi. Apabila peleraian robot ditingkatkan, jejari kambi menjadi semakin besar menyebabkan tandaan yang dibuat semakin jauh ke dalam rajah. Walau bagaimanapun, kejitian laluan pula semakin meningkat apabila peleraian ditingkatkan. Bagi pengoperasian robot menggunakan pergerakan interpolasi sendi, kejitian titik robot juga merosot apabila peleraian ditingkatkan. Tandaan dibuat di bahagian dalam rajah yang sepatutnya. Bentuk tajam pada bucu empat

segi menjadi kambi, dan jejari kambi ini semakin besar apabila peleraian ditingkatkan. Bagi kejitian laluan pula, peleraian yang meningkat menyebabkan kejitian laluan turut meningkat.

Kesan peleraian terhadap kejitian titik dan laluan robot yang menggunakan kaedah gerakan membulat (*MoveC*) pula agak aneh. Apabila peleraian robot ditingkatkan daripada kedudukan *fine* ke *z20*, ralat titik bagi robot semakin berkurangan. Tetapi apabila peleraian meningkat daripada *z30* ke *z100*, ralat titik robot semakin meningkat. Kesemua tandaan yang dibuat adalah berada di dalam rajah rujukan. Keadaan yang sama berlaku kepada ralat laluan. Ralat laluan robot menurun apabila peleraian ditingkatkan daripada 'fine' ke *z30*. Tetapi apabila peleraian berada pada *z50* dan *z100*, ralat laluan robot juga meningkat. Laluan yang dibuat berada di dalam rajah rujukan.

Berdasarkan kepada keputusan yang diperolehi daripada Ujikaji 3 didapati beban yang dikenakan ke atas pengesan hujung akan memberi kesan ke atas kejitian titik dan laluan robot. Walau bagaimanapun, kesan ini hanya terjadi apabila robot dijalankan pada kelajuan yang tinggi. Ketika robot beroperasi pada kelajuan $v100$, kejitian titik dan laluan robot langsung tidak terjejas walaupun beban ke atas pengesan hujung ditingkatkan daripada 2kg hingga 10kg. Akan tetapi, apabila robot beroperasi pada kelajuan $v4000$, tandaan yang dibuat jelas menunjukkan robot telah tidak jitu. Ketidakjitian robot semakin meningkat apabila beban yang dikenakan pada pengesan hujung ditingkatkan. Kejitian titik telah terjejas dengan teruk apabila beban ditingkatkan, di mana tandaan yang dibuat telah terkeluar daripada rajah yang sepatutnya. Kejitian laluan pula mengalami sedikit ralat di mana tandaan laluan yang dibuat masuk ke bahagian dalam rajah menyebabkan garisan yang dilukis melengkung. Garisan laluan ini semakin melengkung ke dalam apabila beban pada pengesan hujung ditingkatkan. Keputusan menyeluruh ujikaji dapat ditunjukkan dengan lebih jelas pada seksyen berikutnya.

7.0 KESIMPULAN

Dari keputusan yang diperolehi, didapati kelajuan, peleraian dan beban memainkan peranan yang penting serta memberi kesan terhadap kejitian titik dan laluan robot industri *IRB-2400*. Kelajuan yang tinggi mengakibatkan prestasi robot menjadi semakin tidak jitu. Pada kelajuan tinggi juga, robot akan mengalami lajukan dan laluan yang dibuat oleh robot akan condong untuk membuat lengkungan. Peleraian yang tinggi menyebabkan kesan ketidakjitian robot yang sangat ketara. Tandaan yang dibuat oleh robot jelas tidak mengenai sasaran apabila peleraian meningkat. Beban yang semakin bertambah pada pengesan hujung hanya boleh menyebabkan ketidakjitian kepada robot apabila robot beroperasi pada halaju yang tinggi. Kesan lajukan jelas dapat dilihat apabila beban yang berat berada pada pengesan hujung. Lajukan juga tidak berlaku pada semua titik. Lajukan sangat jelas berlaku semasa beban yang dikenakan adalah jauh daripada paksi gerakan robot.

RUJUKAN

1. Groover, M.P., Weiss, M., Nagel, R.N. dan Odrey, N.G., 1986, *Industrial Robotics: Technology, Programming and Applications*, McGraw-Hill Book Co.
2. Musa Mailah dan Hishamuddin Jamaluddin, 2001, *Pengenalan Kepada Robotik*, Buku Modul Pengajaran, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UTM.
3. Chan Lean Kiat, 1995, *Experimental Analysis of RB4EV Trainer Robot*, Tesis Projek Sarjana Muda, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UTM.
4. Technical Report on Industrial Robot, ISO/TR 8373.
5. ABB Robotics, *Basic Operation – ABB Flexible Automation*, ABB Robotics Product, Sweden.
6. Azamkhairi Ab Razak, 2001, *Experimental Analysis of IRB-2400 Robot*, Tesis Projek Sarjana Muda, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UTM.
7. IRB-2400 Robot User's Guide and Manual, 1997, ABB Robotics.

