

**PEMBANGUNAN SISTEM ROBOT
MENGUNAKAN KAEDAH KEJURUTERAAN
BALIKAN**

Oleh

NORSIHAN MOKHTAR

Tesis yang diserahkan untuk memenuhi
keperluan bagi Ijazah Sarjana Sains

Jun, 2000

PENGHARGAAN

Dengan Nama Allah Yang Amat Pemurah Lagi Amat Mengasihani

Saya ingin mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada penyelia projek saya, Dr. Fakhruddin Mohd. Hashim dan Encik Amir Yazid Ali di atas tunjuk ajar, nasihat, dorongan dan kesabaran mereka membantu saya melaksanakan projek ini. Tidak dilupakan, Prof. Madya Mohd. Razali Muhamad, Dr. Zaidi Mohd. Ripin dan Dr. Zahurin Samad yang telah membantu dari segi nasihat dan panduan dalam penyelesaian beberapa permasalahan projek.

Ucapan terima kasih juga ditujukan terutama untuk Encik Baharom, Encik Hamid Fahmi, Encik Zaimi, dan juruteknik-juruteknik lain di Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik yang banyak membantu menyempurnakan kerja-kerja fabrikasi. Saya juga berterima kasih kepada Encik Mohd Najib dan Encik Mohd Ali Shahbana atas pertolongan ikhlas yang telah dihulurkan. Ucapan yang sama ditujukan kepada dekan Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik kerana telah memberi peluang projek penyelidikan ini dilaksanakan. Sekalung penghargaan juga diberikan kepada pihak MCRIA dan juruteknik-juruteknik di Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik/Elektronik kerana sudi berkongsi maklumat dan pengalaman yang amat bernilai.

Akhir sekali, penghargaan yang tak terhingga khusus untuk suami dan keluarga saya yang telah memberi sokongan yang tidak berbelah-bagi di belakang tabir.

SENARAI KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGHARGAAN	ii
SENARAI KANDUNGAN	iii
SENARAI LAMPIRAN	x
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI JADUAL	xiii
KATA KUNCI	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Permasalahan Projek	2
1.3 Objektif Penyelidikan	2
1.4 Skop Kerja Penyelidikan	4
1.5 Aturan Tesis	6
BAB 2 TINJAUAN BACAAN	8
2.1 Pendahuluan	8

2.2	Metodologi Rekabentuk Semula	8
2.2.1	Kejuruteraan Balikan	12
2.2.2	Permodelan dan Analisis	14
2.2.2.1	Teknik Penguraian Fungsi	14
2.2.2.2	Rumah Kualiti	15
2.2.2.3	Permodelan Geometri Menggunakan Perisian CAD	17
2.2.3	Rekabentuk Semula	18
2.3	Sistem Robot	19
2.3.1	Komponen Robot	20
2.3.1.1	Lengan Mekanikal	21
2.3.1.2	'End-effector' dan Pergelangan	22
2.3.1.3	Sistem Pemacu	22
2.3.1.4	Sistem Penghantar	24
2.3.2	Konfigurasi Robot	24
2.3.3	Geometri dan Kinematik Robot	25
2.3.4	Prestasi	27
2.3.4.1	Kapasiti Beban	27
2.3.4.2	Kelajuan	28
2.3.4.3	Kebolehlulangan	28
2.3.5	Aplikasi Robot	29
2.4	Sistem Kawalan Sel	30
2.4.1	Pengawal (<i>controller</i>) atau Komputer	31
2.4.2	Alat Kawalan Logik Boleh Diaturcara (PLC)	32
2.4.3	Pengaturcaraan <i>Ladder Diagram</i>	33
2.4.4	Penderia	35
2.4.5	Kawalan Gerakan Robot	36

2.5	Rumusan	37
BAB 3	SISTEM ROBOT LATIHAN DAN PENDEKATAN PROJEK	38
3.1	Pendahuluan	38
3.2	Sistem Robot Latihan	38
3.2.1	Unit Tapak Berputar (UTB)	40
3.2.2	Unit Pemacu Pengumpar (UPP)	40
3.2.3	Penggenggam Pneumatik dan Pergelangan	40
3.2.4	Pengawal (<i>Controller</i>)	40
3.3	Konfigurasi, Geometri dan Kinematik	41
3.4	Prestasi	41
3.5	Aplikasi	43
3.6	Pendekatan Projek	43
3.6.1	Prosedur Pengubahsuaian Konfigurasi Robot	44
3.6.2	Prosedur Pembinaan Sistem Kawalan Sel	45
3.7	Rumusan	46
BAB 4	APLIKASI METODOLOGI BALIKAN	47
4.1	Pendahuluan	47
4.2	Analisis Kejuruteraan Balikan	47
4.2.1	Analisis Peringkat Sistem	48
4.2.1.1	Spesifikasi Kepenggunaan	48
4.2.1.2	Sifat Fizikal UPP dari Pelbagai Sudut Pandangan	49
4.2.1.3	Model 'Kotak Hitam'	51

4.2.1.4	Kekangan-kekangan Rekabentuk	52
4.2.1.5	Rajah Tulang Ikan	54
4.2.1.6	Prinsip-prinsip Fizikal	56
4.2.2	Analisis Peringkat Subsistem	56
4.2.2.1	Tatacara Pengasing	56
4.2.2.2	Spesifikasi Fungsi	57
4.2.2.3	Kekangan-kekangan Rekabentuk	59
4.2.2.4	Interaksi antara Subsistem	60
4.2.2.5	Prinsip-prinsip Fizikal	61
4.2.3	Analisis Peringkat Komponen	61
4.2.3.1	Tatacara Pengasingan	61
4.2.3.2	Spesifikasi Fungsi	65
4.2.3.3	Kekangan-kekangan Rekabentuk	67
4.2.3.4	Interaksi antara Komponen	67
4.2.3.5	Prinsip-prinsip Fizikal	72
4.2.3.6	Metod Penghasilan Komponen	72
4.3	Analisis Kejuruteraan Balikan ke atas Pergelangan	75
4.3.1	Analisis Peringkat Komponen	76
4.3.1.1	Tatacara Pengasingan	76
4.3.1.2	Spesifikasi Fungsi	76
4.3.1.3	Kekangan-kekangan Rekabentuk Komponen	76
4.3.1.4	Interaksi antara Komponen	77
4.3.1.5	Prinsip-prinsip Fizikal	78
4.3.1.6	Metod Penghasilan Komponen	78
4.4	Rumusan	79

BAB 5	ANALISIS DAN PERMODELAN REKABENTUK SEMULA	80
5.1	Pendahuluan	80
5.2	Keperluan dan kekangan Rekabentuk Semula	80
5.2.1	Keperluan Rekabentuk Semula	81
5.2.2	Kekangan Rekabentuk Semula	81
5.3	Analisis Rekabentuk Pergelangan Anjal	82
5.3.1	Faktor Tapak Pemesinan dan Ciri-ciri Bahankerja	82
5.3.1.1	Tapak Pemesinan	83
5.3.1.2	Ciri-ciri Bahankerja	84
5.3.2	Analisis Orientasi	85
5.3.3	Teknik Penguraian Fungsi	86
5.4	Analisis Rekabentuk DOF3	89
5.4.1	Langkah 1: Menterjemah Keperluan-keperluan Rekabentuk DOF3 dalam Bentuk Sasaran Kejuruteraan yang boleh diukur.	90
5.4.2	Langkah 2: Mengenalpasti Parameter-parameter UPP yang Paling Kritikal dalam Memenuhi Keperluan Rekabentuk DOF3	90
5.4.3	Langkah 3: Meneliti Permasalahan Kekangan Rekabentuk Semula Terhadap Ciri-ciri Komponen DOF3	91
5.4.4	Permodelan dan Pengiraan Kejuruteraan	93
5.4.4.1	Memenuhi Keupayaan Jangkauan 400 mm	93
5.4.4.2	Analisis Kesimbangan Daya Statik	95
5.5	Rumusan	95

BAB 6	REKABENTUK SEMULA DAN FABRIKASI PROTOTAIP DOF3	96
6.1	Pendahuluan	96
6.2	Rekabentuk DOF3	96
6.3	Fabrikasi Prototaip DOF3	99
6.3.1	Pemesinan Komponen	100
6.3.2	Pemasangan Komponen	100
6.4	Rumusan	102
BAB 7	PEMBINAAN SISTEM KAWALAN SEL	103
7.1	Pendahuluan	103
7.2	Ciri-ciri Sistem Kawalan Sel	103
7.3	Peringkat-peringkat Pembangunan Sistem Kawalan Sel	104
7.3.1	Perancangan Laluan Robot	106
7.3.1.1	Taarifan Koordinat Kawalan	106
7.3.1.2	Perincian Tugas 'Pungut dan Letak'	108
7.3.2	Rekabentuk Sistem Elektronik Industri	110
7.3.3	Pembangunan Tugas dalam Pengaturcaraan <i>Ladder Diagram</i>	112
7.3.4	Pengujian	114
7.4	Rumusan	114
BAB 8	PENGUJIAN DAN PENGESAHAN PRESTASI DOF3	116
8.1	Pendahuluan	116
8.2	Bentangan Tapak Pengujian	116

8.3	Pengujian Prestasi DOF3	116
8.3.1	Ujikaji 1	117
8.3.2	Ujikaji 2	119
8.4	Perbandingan Prestasi DOF3 dengan Sasaran Rekabentuk Semula	119
8.5	Anggaran Kos DOF3	120
8.6	Perbincangan	121
8.7	Rumusan	122
BAB 9	KESIMPULAN DAN CADANGAN	123
9.1	Pendahuluan	123
9.2	Penghasilan Projek Penyelidikan	123
9.3	Sumbangan Projek Penyelidikan	124
9.4	Kritikan Mengenai Penyelidikan	126
9.5	Cadangan	127
9.5.1	Aspek Rekabentuk	127
9.5.2	Aspek Sistem Kawalan Sel	128
RUJUKAN		130

SENARAI LAMPIRAN

muka surat

Lampiran A	Pengiraan Kejuruteraan	135
Lampiran B	Unit Tapak Berputar (UTB)	148
Lampiran C	Unit Pemacu Pengumpar (UPP)	154
Lampiran D	<i>'End-effector'</i>	172
Lampiran E	Sistem Kawalan Sel	175
Lampiran F	Analisis Pergelangan Anjal	185
Lampiran G	Analisis Kejuruteraan Balikan	189
Lampiran H	DOF3	198
Lampiran I	Pengaturcaraan Tugas	219

SENARAI RAJAH

muka surat

Rajah 1.0	Carta aliran skop kerja projek	5
Rajah 2.0	Hubungan antara Kejuruteraan Balikan dan rekabentuk semula dalam sesebuah kerja rekabentuk	11
Rajah 2.1	Peringkat dan elemen-elemen analisis dalam Metodologi Kejuruteraan Balikan	13
Rajah 2.2	Rumah Kualiti	16
Rajah 2.3	Sampul kerja bagi lima konfigurasi asas robot industri	26
Rajah 2.4 (a)	<i>Rung</i> - struktur asas pengaturcaraan <i>Ladder Diagram</i>	33
Rajah 2.4 (b)	<i>Rung</i> yang diisi dengan Input (I) dan Output (O)	33
Rajah 3.0	(a) Robot latihan dan (b) rajah skematik menunjukkan dua darjah kebebasannya	39
Rajah 3.1	Pecahan sistem robot kepada lima subsistem	39
Rajah 3.2	Carta pendekatan projek pembangunan sistem robot latihan	44
Rajah 4.0	Lukisan CAD pelbagai sudut pandangan unit pemacu pengumpur; (a) hadapan (b) belakang (c) sisi kanan (d) sisi kiri (e) atas (f) bawah	50
Rajah 4.1	Model Kotak Hitam mewakili input dan output yang mempengaruhi keberkesanan operasi UPP	52
Rajah 4.2	Model Rajah Tukang Ikan menganalisis beberapa tanggapan prinsip fizikal sistem UPP	55
Rajah 4.3	Subsistem UPP : (i) subsistem pemacu, (ii) subsistem pergerakan, (iii) subsistem pemegang penderia	57
Rajah 4.4	Pemasangan dan label komponen-komponen UPP	64
Rajah 5.0	(i) Tapak pemesinan dan (ii) paksi-paksi mesin pemilahan latihan	83

Rajah 5.1	Kedudukan 1 dan 2 bahankerja di atas penghantar	84
Rajah 5.2(i)	Aliran tertumpu bahan bagi pergelangan anjal yang membentuk dua darjah kebebasan	87
Rajah 5.2 (ii)	Kaedah susunatur rangkai pergelangan anjal	88
Rajah 5.3	Kedudukan robot relatif kepada mesin pemilan latihan (<i>pandangan atas</i>)	93
Rajah 5.4	Ukuran panjang dan jarak jangkauan UPP	94
Rajah 6.0	Rekabentuk pemasangan DOF3	98
Rajah 6.1	Jujukan pemasangan komponen-komponen prototaip DOF3	101
Rajah 7.0	Carta aliran peringkat-peringkat pembinaan sistem kawalan sel	105
Rajah 7.1	Takrifan sistem koordinat tapak untuk robot silinder	106
Rajah 7.2	Kedudukan awal robot, mesin pemilan latihan dan bahankerja (<i>pandangan atas</i>)	107
Rajah 7.3	Lokasi hujung pengggenggam mengikut kejadian-kejadian dalam tugas 'pungut dan letak'	109
Rajah 7.4	Susunatur rekabentuk elektronik industri bagi system kawalan sel	111
Rajah 7.5	Aliran kawalan logik output dalam program utama (P0)	113
Rajah 8.0	Graf kelajuan pergerakan DOF3 lawan masa	119

SENARAI JADUAL

muka surat

Jadual 2.0	Senarai fungsi bagi seksyen-seksyen dalam Rumah Kualiti	17
Jadual 2.1	Unsur-unsur yang terkandung dalam komponen utama robot	20
Jadual 2.2	Konfigurasi robot dan jenis sendi utama rangkai	25
Jadual 2.3	Ciri-ciri penderia robot	36
Jadual 3.0	Spesifikasi prestasi dua paksi utama robot latihan	42
Jadual 4.0 (a)	Spesifikasi kegunaan UPP dari keperluan rekabentuk semula dan pandangan jurutera	48
Jadual 4.0 (b)	Kekangan-kekangan rekabentuk semula dan kesan kepada rekabentuk UPP	53
Jadual 4.1	Subsistem UPP, fungsi dan senarai-senarai komponennya	58
Jadual 4.2	Kesan kekangan rekabentuk semula ke atas subsistem UPP	59
Jadual 4.3	Interaksi antara subsistem UPP	60
Jadual 4.4	Subsistem, senarai komponen, bilangan dan label komponen UPP	62
Jadual 4.5(a)	Takrifan fungsi komponen subsistem pemacu	65
Jadual 4.5(b)	Takrifan fungsi komponen subsistem pemacu	66
Jadual 4.5(c)	Takrifan fungsi komponen subsistem pemacu	67
Jadual 4.6(a)	Interaksi antara komponen-komponen subsistem pemacu	68
Jadual 4.6(b)	Interaksi antara komponen-komponen subsistem pergerakan	69
Jadual 4.6(c)	Interaksi antara komponen-komponen subsistem pemegang penderia	71
Jadual 4.7(a)	Pengeluaran komponen pemacu dan faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihannya	73
Jadual 4.7(b)	Pengeluaran komponen pergerakan dan faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihannya	74

Jadual 4.7(c)	Pengeluaran komponen pemegang penderia dan faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihannya	75
Jadual 4.8 (a)	Takrifan fungsi komponen pergelangan robot	76
Jadual 4.8 (b)	Kesan kekangan rekabentuk semula ke atas rekabentuk komponen pergelangan	77
Jadual 4.8 (c)	Interaksi antara komponen pergelangan robot	78
Jadual 4.8 (d)	Pengeluaran komponen pergelangan dan faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihannya	79
Jadual 5.0	Keputusan ujikaji orientasi-orientasi penggenggam untuk 'pungut dan letak' sampel-sampel bahankerja	86
Jadual 5.1	Kesan kekangan rekabentuk semula ke atas pembuatan komponen DOF3 dan langkah-langkah penyelesaian yang diambil	92
Jadual 6.0	Perubahan parameter komponen DOF3 dan tujuannya	97
Jadual 6.1	Senarai bahan (<i>bill of materials</i>) komponen-komponen DOF3	99
Jadual 6.2	Mesin-mesin pembuatan yang digunakan dalam pemesinan komponen DOF3	100
Jadual 7.0	Ciri-ciri sistem kawalan sel	104
Jadual 8.0	Keputusan pengiraan data kinematik DOF3	118
Jadual 8.1	Perbandingan nilai jangkauan, kejituan dan kebolehulangan DOF3 dengan nilai sasaran rekabentuk semula	120

KATA KUNCI

<u>Singkatan</u>	<u>Bahasa Malaysia</u>	<u>English</u>
CNC	Kawalan Angka Berkomputer	Computer Numerical Control
CAD	Rekabentuk berbantuan komputer	Computer-Aided-Design
PLC	Kawalan logik boleh di aturcara	Programmable Logic Controller
DOF	Darjah kebebasan	Degree of freedom
UPP	Unit pemacu pengumpar	Spindle drive unit
UTB	Unit tapak berputar	Rotary base unit
PPKM	Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik	School of Mechanical Engineering

PEMBANGUNAN SISTEM ROBOT MENGGUNAKAN KAEDAH KEJURUTERAAN

BALIKAN

Abstrak

Kemajuan dalam industri pengeluaran banyak disokong oleh penggunaan sistem pembuatan berteknologi tinggi seperti sistem robot. Bagaimana pun, penggunaan teknologi robot oleh industri-industri tempatan khususnya industri kecil dan sederhana (IKS) adalah rendah disebabkan oleh faktor kos dan kemahiran mengadaptasi teknologi terbabit. Pembangunan komponen robot secara tempatan boleh meningkatkan keupayaan IKS mengeluarkan dan mengaplikasi teknologi mengikut keperluan-keperluan proses pengeluaran masing-masing. Penyelidikan ini pada asasnya bertujuan menyediakan suatu pendekatan rekabentuk semula yang sistematik menggunakan peralatan-peralatan yang terhad bagi menghasilkan rekabentuk komponen-komponen robot. Pendekatan yang dipanggil Kejuruteraan Balikan menekankan aspek maklumat/data menyeluruh mengenai produk untuk dijadikan asas rekabentuk semula yang mantap. Penyelidikan ini menggunakan sebuah robot latihan yang pada asalnya memiliki 2 darjah kebebasan, untuk ditingkatkan kepada 3 darjah kebebasan melalui penambahan satu paksi pergerakan yang dinamakan DOF3. Aktiviti rekabentuk semula tertumpu kepada unit pemacu pengumpar (UPP). Ia melibatkan aspek-aspek parametrik di mana beberapa perubahan dilakukan terhadap konfigurasi UPP untuk mencapai tiga sasaran rekabentuk iaitu jangkauan, kejituan kedudukan dan kebolehlaksanaan. Kebolehlaksanaan pergelangan anjal juga diuji untuk digandingkan dengan DOF3. Teknik-teknik rekabentuk seperti Teknik Penguraian Fungsi, Rumah Kualiti dan Permodelan CAD digunakan dalam analisis konsep-konsep rekabentuk yang dipilih. Hasil daripada projek penyelidikan ini, satu struktur fizikal DOF3 telah berjaya dibangunkan secara amali di dalam makmal. Selain itu, satu sistem kawalan sel untuk kegunaan pengujian prestasi prototaip DOF3 juga telah dihasilkan. Walau pun terdapat beberapa penurunan dari segi prestasi DOF3 yang dihasilkan, penyelidikan ini diharap mampu membuka jalan bagi pengembangan teknologi bagi sistem robotik dan automasi tempatan.

THE DEVELOPMENT OF ROBOTIC SYSTEM USING REVERSE ENGINEERING APPROACH

Abstract

The advancement of production industry is supported by the utilization of high technology manufacturing systems such as the robotic system. Anyhow, the use of robot technology in local industries especially in low and medium industries (IKS), is low due to factors associated to cost and technology adaptation skills. The development of robot components locally would give IKS the ability to produce and apply the technology according to their manufacturing needs. The objective of this research is basically to provide a systematic approach in redesigning robot components using existing manufacturing equipment. The approach which is called Reverse Engineering emphasizes on a complete product information/data in order to build a firm foundation for redesign work. The research uses an existing 2 degree-of-freedom (DOF) trainer robot which is then upgraded to have 3 DOF by adding an axes named as DOF3. The major focus of redesign work is based on the spindle drive unit (UPP). The process involves a parametric redesign in which a few configurations of UPP are modified to achieve three redesign requirements; reach, positional accuracy and repeatability. The feasibility of developing a flexible wrist for the DOF3 is also tested. Design techniques such as Functional Decomposition Techniques, House of Quality and CAD Modeling have been utilized to analyze the chosen design concepts. The major outcome of this research project is a physical structure of the DOF3 which is successfully developed in the laboratory. In addition, a cell control system which is used to test the performance of the DOF3, is also produced. Although there are performance reduction of the DOF3, it is hoped that this research will open an avenue for technological expansion of robotic and automation systems locally.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Sistem kawalan sel dan robot merupakan dua teknologi pengeluaran moden yang banyak diaplikasikan dalam industri di negara-negara maju seperti Jepun dan Amerika Syarikat. Penggunaan teknologi-teknologi ini telah diketahui dapat memberi banyak kesan positif kepada pengeluaran seperti peningkatan produktiviti, keberkesanan penggunaan sumber tenaga, serta perolehan jangka panjang sesebuah industri. Bagaimana pun, kesan positif ini didapati kurang dirasai oleh kebanyakan industri di Malaysia khususnya industri kecil dan sederhana (IKS). Laporan Rancangan Malaysia Ke-7, Unit Perancangan Ekonomi, Jabatan Perdana Menteri menunjukkan bahawa jumlah IKS yang merangkumi 84% daripada jumlah perusahaan dalam sektor pembuatan di Malaysia, hanya berupaya menyumbang 28% dan 33% dalam bentuk nilai ditambah dan gunatenaga kepada pembangunan keseluruhan sektor ini [1]. Faktor kos pelaburan awal yang tinggi mungkin menjadi halangan utama bagi IKS menggunakan teknologi-teknologi tersebut disebabkan komponen dan peralatan robot dan kawalan sel kebiasaannya mahal dan berbentuk pakej.

Keperluan kepada suatu usaha intensif bagi menghasil dan mengaplikasi teknologi-teknologi robot dan sistem kawalan sel secara tempatan untuk disesuaikan dengan keperluan dan kemampuan IKS adalah mendesak. Pengeluaran produk atau komponen-komponen berkaitan secara kos efektif dapat mengurangkan kepergantungan IKS kepada

komponen atau produk luar negara. Aktiviti berkenaan boleh memberi laluan kepada kegiatan pengeluaran secara tempatan dan mampu mengoptimumkan sumbangan IKS kepada hasil pengeluaran negara.

1.2 Permasalahan Projek

Sebuah robot latihan yang mempunyai dua darjah kebebasan (rujuk Rajah 3.0 di Bab 3) dicadangkan untuk melakukan tugas 'pungut dan letak' bahankerja di atas sebuah mesin pemilahan latihan secara terkawal. Dua permasalahan timbul iaitu;

1. Ketiadaan darjah kebebasan ke-3 yang membolehkan robot menjangkau ke kedudukan bahankerja di atas mesin pemilahan latihan untuk melakukan aktiviti 'pungut dan letak'.
2. Ketiadaan sistem kawalan yang boleh mengawal pergerakan robot untuk melaksana proses 'pungut dan letak'.

1.3 Objektif Penyelidikan

Tiga jalan penyelesaian bagi permasalahan di atas menjadi objektif penyelidikan ini iaitu;

1. Membangunkan darjah kebebasan ke-3 robot latihan yang dinamakan DOF3 melalui rekabentuk semula menggunakan metodologi Kejuruteraan Balikan. Selain itu, sebagai tambahan nilai kepada DOF3, sebuah pergelangan anjal juga diuji kebolehlaksanaannya untuk digandingkan dengan DOF3.

2. Menghasilkan struktur fizikal DOF3 menggunakan peralatan yang sedia ada berpandukan pendekatan Kejuruteraan Balikan yang dikaji melalui pengubahsuaian komponen sistem robot yang berkaitan.
3. Membina sebuah sistem kawalan sel untuk mengawal dan melaksanakan sistem robotik yang telah dibangunkan.

Penyelesaian permasalahan di atas adalah rumit kerana ia menggabungkan tiga disiplin rekabentuk kejuruteraan iaitu mekanikal, elektrik/elektronik dan pengaturcaraan. Rekabentuk semula UPP sebahagian besarnya melibatkan rekabentuk dan fabrikasi komponen-komponen mekanikal. Rekabentuk elektrik/elektronik pula ditumpukan kepada penglokasian pengesan (*sensor*) dan peralatan-peralatan elektrik elektronik yang digunakan pada atau seiring dengan komponen-komponen berkenaan. Ia bertujuan melengkapkan komponen-komponen kawalan dalam pembangunan sistem kawalan robot. Rekabentuk pengaturcaraan membabitkan penggunaan perisian komputer bagi membentuk arahan-arahan kawalan yang akan mengawal pergerakan semua paksi-paksi robot.

Teras utama pelaksanaan projek ini ialah penggunaan kemudahan dan kepakaran yang sedia ada. Ciri-ciri rekabentuk dan pembuatan DOF3 dan sistem kawalan sel adalah tertakluk kepada faktor ini. Menggunakan kemudahan sedia ada bermakna pembuatan DOF3 akan hanya menggunakan peralatan-peralatan seperti perisian komputer, mesin-mesin pembuatan, peralatan elektrik/elektronik dan sumber kewangan yang terdapat di PPKM sahaja. Penggunaan kepakaran pula menjurus kepada keupayaan penulis dan pekerja-pekerja teknikal di PPKM menggunakan peralatan-peralatan yang disebutkan.

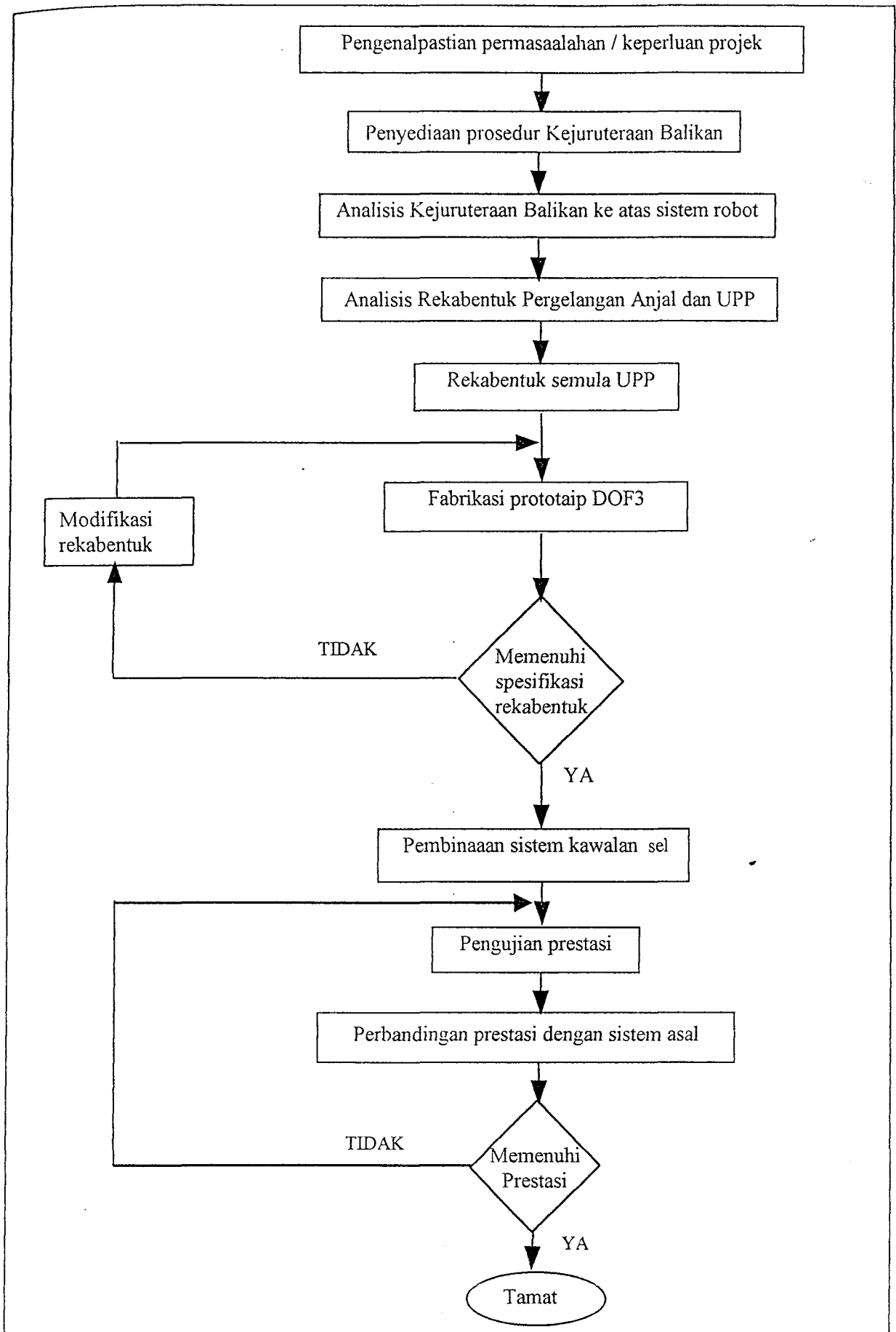
Bagaimana pun, apabila sesuatu sistem atau produk dibangunkan secara '*in-house*', pengurangan kos kebiasaannya menjadi faktor yang kritikal. Penulis bagaimanapun

berpandangan bahawa faktor pengurangan kos terlalu awal untuk dijadikan sasaran utama memandangkan penyelidikan ini merupakan perintis bagi pembangunan sistem robotik di PPKM. Keutamaan diberikan lebih kepada elemen kebolehlaksanaan proses pembuatan DOF3 daripada kos pengeluaran secara keseluruhan. Walau bagaimanapun, faktor kos secara kasar tetap diambilkira bagi tujuan perbandingan.

1.4 Skop Kerja Penyelidikan

Carta aliran dalam Rajah 1.0 mewakili skop kerja projek penyelidikan yang dijalankan. Ia dimulakan dengan pengenalanpastian permasalahan atau keperluan projek rekabentuk semula UPP. Ia diikuti dengan proses-proses penyediaan prosedur Kejuruteraan Kejuruteraan Balikan yang berfokuskan kepada kajiselidik keatas sistem, subsistem dan komponen robot latihan. Analisis Kejuruteraan Balikan ke atas UPP dibuat berdasarkan metodologi Kejuruteraan Balikan Otto dan Wood. Analisis-analisis rekabentuk pergelangan anjal dan DOF3 dilakukan untuk menghasilkan spesifikasi rekabentuk.

Seterusnya aktiviti rekabentuk semula melibatkan penghasilan lukisan-lukisan kejuruteraan komponen dan pengiraan-pengiraan kejuruteraan tertentu dilakukan. Proses fabrikasi merangkumkan proses-proses pemesinan dan pemasangan komponen DOF3. Modifikasi ke atas komponen ditentukan dijalankan semasa proses fabrikasi jika terdapat sebarang perbezaan dari nilai spesifikasi. Sel kawalan dibangunkan selepas DOF3 siap untuk tujuan pengujian prestasi. Nilai-nilai prestasi dibandingkan dengan nilai-nilai asal.



Rajah 1.0: Carta aliran skop kerja penyelidikan

Pengujian semula dilakukan jika terdapat perbezaan nilai untuk melihat jika terdapat kesilapan semasa proses.

1.5 Aturan Tesis

Bab 2 mengandungi tinjauan bacaan dari buku-buku, jurnal dan internet mengenai metodologi-metodologi rekabentuk semula, sistem robot serta sistem kawalan sel. Perbincangan berkenaan metodologi rekabentuk merujuk kepada beberapa pendekatan rekabentuk/rekabentuk semula mekanikal yang lazim digunakan. Penerangan khusus diberikan kepada metodologi Kejuruteraan Balikan yang menjadi pendekatan projek penyelidikan ini.

Bab 3 pula meneliti spesifikasi robot latihan dan pendekatan kerja bagi projek penyelidikan ini. Spesifikasi robot diperolehi dari kajian terhadap struktur fizikal robot dan dua siri ujikaji prestasi. Prosedur-prosedur pendekatan projek dibincangkan diakhir bab ini.

Bab 4 memuatkan aplikasi metodologi Kejuruteraan Balikan ke atas struktur UPP dan pergelangan robot. Aplikasi melibatkan lima hingga enam langkah analisis yang dilakukan dalam tiga peringkat iaitu peringkat sistem, subsistem dan komponen.

Analisis, dan permodelan struktur pergelangan dan UPP merupakan fokus utama dalam Bab 5. Keperluan dan kekangan rekabentuk semula ditetapkan dan diterjemahkan kepada konsep-konsep rekabentuk yang berkaitan. Rekabentuk dimulakan dengan menguji kebolehlaksanaan pergelangan anjal untuk digandingkan dengan DOF3 menggunakan ujian orientasi dan Teknik Penguraian Fungsi. Seterusnya, beberapa siri analisis rekabentuk

DOF3 menggunakan Teknik Rumah Kualiti, Permodelan CAD serta pengiraan-pengiraan kejuruteraan dibuat. Model-model rekabentuk DOF3 dihasilkan di akhir proses.

Berasaskan kepada model-model rekabentuk yang dihasilkan, kerja-kerja rekabentuk semula dalam Bab 6 menjurus kepada penilaian semula (*refinement*) rekabentuk bahagian robot melalui beberapa modifikasi terhadap konfigurasi komponen UPP yang berkenaan. Di akhir rekabentuk, lukisan-lukisan geometri bagi komponen-komponen DOF3 dihasilkan. Dua aspek fabrikasi iaitu pemesinan dan pemasangan bagi menjana prototaip bahagian dibincangkan.

Bab 7 mengandungi empat peringkat pembinaan sistem kawalan sel untuk menghasilkan suatu rekabentuk sistem elektronik industri dan sebuah pengaturcaraan tugas untuk menguji prestasi DOF3 dan melaksana proses 'pungut dan letak'. Prosedur-prosedur bagi setiap peringkat diperjelaskan secara terperinci.

Pengujian dan pengesahan prestasi serta penilaian kos bahan prototaip DOF3 dimuatkan dalam Bab 8. Perbandingan dengan prestasi sasaran serta perbincangan mengenai hasil-hasil ujian disertakan.

Akhir sekali, Bab 9 merumuskan kerja-kerja penyelidikan dengan perbincangan mengenai penghasilan dan sumbangan projek penyelidikan secara keseluruhan. Beberapa kritikan terhadap penyelidikan dibuat dan alternatif penyelesaian diberikan bagi meningkatkan prestasi DOF3 dan keberkesanan pelaksanaan projek di masa akan datang.