

PENGEMBANGAN MODEL PEMBUAT KEPUTUSAN
HIBRID BAGI PELAKSANAAN PEMBUATAN
SEMULA KENDERAAN AKHIR HAYAT
DI MALAYSIA

NURAZUA BINTI MOHD YUSOP

UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA

PENGEMBANGAN MODEL PEMBUAT KEPUTUSAN HIBRID
BAGI PELAKSANAAN PEMBUATAN SEMULA
KENDERAAN AKHIR HAYAT DI MALAYSIA

NURAZUA BINTI MOHD YUSOP

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEHI
IJAZAH DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI
2018

PENAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

28 Julai 2018

NURAZUA BINTI MOHD YUSOP
P58225

PENGHARGAAN

Syukur Alhamdulillah ke hadrat Illahi kerana dengan izinNya, penyelidikan dan tesis ini berjaya disiapkan. Pertama sekali saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada penyelia utama Profesor Dr. Dzuraidah Abd. Wahab di atas segala galakan, dorongan, nasihat dan bimbingan yang berterusan sepanjang kajian ini dijalankan. Keprihatinan dan sokongan beliau amat saya hargai dan tidak akan dilupakan. Penghargaan juga ditujukan kepada Dr. Nizaroyani Saibani selaku penyelia kedua dengan nasihat dan tunjuk ajar yang diberikan. Ribuan terima kasih juga diucapkan kepada Dr. Jafri bin Hj Zulkepli Hew kerana sudi memberi tunjuk ajar mengenai perisian yang digunakan.

Seterusnya, terima kasih khas kepada responden-responden daripada agensi-agensi kerajaan dan pakar-pakar industri yang memberi kerjasama semasa proses pengumpulan data dan penentusahan bagi aktiviti pembuatan semula dalam sektor automotif di Malaysia.

Selain itu, saya juga mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan terima kasih tidak terhingga kepada rakan seperjuangan saya di UTeM (Dr Nur Aidawaty Rafan, Dr Zakiah Abdul Halim dan lain-lain) dan juga di UKM terutama sekali Ammer Ezhan di atas pertolongan, sokongan dan cetusan serta perkongsian buah fikiran mereka yang berterusan dalam penyelidikan ini.

Tidak dilupakan penghargaan yang istimewa dirakamkan kepada keluarga tercinta terutamanya suami saya, Ahmad Sophien Abu Kassim, anak-anak saya, Ahmad Naquiuddin, Azreena Misaki, Aleeya Nurasyiqin, Ahmad Faiezuddin dan Ameera Izzaty serta ibu, Hajah Hapizah Aziz dan ibu mertua, Hajah Amnah Noran atas restu, sokongan, kesabaran dan pengorbanan yang diberikan.

Akhir sekali, ucapan terima kasih tidak terhingga dari hati saya kepada mereka yang tidak disebutkan di sini yang terlibat secara langsung mahupun tidak langsung sepanjang perjalanan penuh pengalaman ini. Tiada kata yang dapat menggambarkan bagaimana perasaan saya dengan semua aspirasi hebat yang telah mereka berikan kepada saya terutama pada masa-masa sukar yang saya lalui. Semoga segala bakti dan usaha yang telah dicurahkan dicatatkan malaikat menjadi amal yang baik, menjadi tiket untuk mendapat redha Allah S.W.T dan mempermudah jalan untuk ke syurga nanti. Insya Allah.

ABSTRAK

Industri automotif Malaysia telah menunjukkan perkembangan yang memberangsangkan dari setahun ke setahun. Namun, peningkatan yang stabil untuk jumlah unit dalam operasi ini menyebabkan berlakunya lambakan bagi kenderaan akhir hayat. Bagi menggalakkan pelupusan dan pembuangan yang lebih sistematik bagi komponen dan kenderaan akhir hayat, usul terhadap adaptasi amalan pembuatan semula komponen automotif dilihat sebagai pilihan pemulihan yang baik, wajar dan di sokong. Sokongan kerajaan dinyatakan dengan pembentangan Dasar Automotif Nasional (NAP) 2014. Objektif kajian ini adalah untuk mengukur dan menilai potensi bagi pelaksanaan proses pembuatan semula dalam industri automotif di Malaysia. Pemodelan simulasi diperkenalkan sebagai model pembuat keputusan yang melibatkan definisi parameter semasa proses pembuatan semula. Memandangkan konsep ini merupakan perkara yang baru, satu kaji selidik disasarkan kepada beberapa kumpulan responden telah dijalankan. Hasilnya, kebanyakan responden memberi jawapan positif mengenai pelaksanaan konsep pembuatan semula ini di Malaysia, namun terdapat beberapa kebimbangan terhadap tingkah laku dinamik industri automotif. Kebimbangan ini meliputi pelbagai tema; daripada tuntutan permintaan yang kompleks dan kehendak pelanggan secara individu, sehinggalah kepada ketidakcukupan tenaga kerja mahir dan tahap kualiti komponen yang telah menjalani proses pembuatan semula. Integrasi dua model pembuat keputusan telah dibangunkan untuk membantu kajian ini, iaitu *System Dynamics* (SD) and *Discrete Event Simulation* (DES). SD dan DES ini merupakan satu pendekatan berkesan dalam menyelesaikan masalah dinamik proses pembuatan semula serta boleh mentakrifkan hubungan-sebab dan akibat dengan wawasan tambahan. Secara khususnya, model SD membolehkan pembuat keputusan untuk meneroka polisi dan dasar untuk dilaksanakan, manakala model DES pula bagi mengenal pasti elemen yang mengalami proses kesesakan dengan pemilihan cadangan bagi mengatasi masalah terbabit. Pemboleh ubah seperti jumlah pekerja mahir dan kualiti produk yang berserta dengan ketersediaan peralatan dan mesin terhadap faktor-faktor seperti jumlah produk siap dan kadar permintaan pelanggan telah disimulasikan. Seterusnya, pemboleh ubah yang melibatkan faktor tidak ketara seperti elemen motivasi dan prestasi pekerja juga turut dimasukkan. Kajian mendapati jumlah pekerja mahir mempengaruhi jumlah produk siap dan seterusnya kualiti produk. Namun, pemboleh ubah ini mengalami perubahan selepas satu tempoh masa. Maklum balas positif daripada faktor *Word-of-Mouth* (WOM) yang dimasukkan dalam model berjaya memberi impak yang baik kepada hasil jualan produk. Ini juga memberi kesan kepada pemboleh ubah lain seperti ketidakstabilan jumlah produk boleh guna semula yang bergantung kepada julat masa tertentu untuk stabil. Analisis sensitiviti yang dijalankan sebagai alat penentusahan juga selari dengan keputusan yang didapati. Sebanyak 50% peluang bagi jumlah jualan produk mencecah 100 unit pada bulan ke -6 operasi dan seterusnya meningkat melebihi 200 unit pada tahun berikutnya. Sempadan luar nilai 95% menunjukkan nilai maksimum jumlah jualan produk mendekati 250 unit dan nilai minimum adalah 225 unit pada akhir tempoh simulasi. Seterusnya, untuk tujuan penentusahan, satu tinjauan dilaksanakan kepada pengamal dan pakar industri untuk mengakses keupayaan dan kesesuaiannya. Berdasarkan maklumbalas pakar industri, model simulasi ini didapati sesuai bagi keperluan semasa sistem proses pembuatan semula. Sebagai kesimpulan, model simulasi hibrid yang dicadangkan boleh diaplikasi dengan berkesan dalam proses pembuatan semula bagi memastikan kejayaan dan keberkesananannya.

THE DEVELOPMENT OF A HYBRID DECISION MAKING MODEL FOR END-OF-LIFE VEHICLE REMANUFACTURING IMPLEMENTATION IN MALAYSIA

ABSTRACT

The Malaysian automotive industry has shown impressive growth from year to year. However, this stabil increment of Units in Operation (UIO) on the Malaysian roads leads to an excessive of these end-of-life vehicles and its components. To encourage a more systematic disposal system of end-of-life vehicles and components, consideration towards the adaptation of the remanufacturing practice on automotive components is seen as a good, sensible and much supported recovery option. This is further supported by the establishment of National Automotive Policy (NAP) 2014. The objective of this study is to measure and evaluate the implementation potential of the remanufacturing process within the Malaysian automotive industry. The simulation modelling was introduced as a decision-making model involving parameter definitions in the remanufacturing process. A targeted survey was conducted on several groups of respondents in view of the unfamiliarity of this new concept in Malaysia. As a result, most respondents replied positively on the implementation of the remanufacturing concept in Malaysia, but there were some concerns on the dynamic behavior of the automotive industry. These concerns cover a wide range of themes; from the complex demands and individual preference of the customers, to the limited quantity of skilled worker and the quality level of the remanufactured components. An integration of decision-making tools was developed to assist this study, namely System Dynamics (SD) and Discrete Event Simulation (DES). The SD and DES tool is able to solve dynamic remanufacturing problems, and can also define the causal relationship with added insights. Specifically, the SD model enables the decision maker to explore possible policies to be implemented, whereas the DES model identifies the areas experiencing the bottleneck process with suggestions on interventions to eradicate the problems. Variables such as the quantity of skilled workers and product quality along with the availability of equipment and machines on factors such as total finished product and customer demand were simulated. Then, intangible factors such as motivations and performance of the workers were embedded. The results showed that the number of skilled worker influenced the number of finished products and the product's quality. However, these variables showed some changes after a certain period. The positive Word-of-Mouth (WOM) feedback dominated and gave a good impact to product sold. This has also affected other results based on other variables such as fluctuation in the amount of collected (reusable) product which requires a certain period of time in order to be stabilised. The sensitivity analysis results also supported these outcomes. There is a 50% chance that product sold reaches 100 units in the 6th month and wil increase to 200 units in the following year. The outer bound of 95% confidence show the maximum value of approximately 250 units and minimum value is 225 units at the end of simulation. For validation purposes, the proposed simulation models were then demonstrated to several industry experts to assess its capability and suitability. Based on input from the industry experts, the simulation models are found to be appropriate for the current needs of the remanufacturing process. In conclusion, the proposed hybrid simulation model can be effectively applied during the implementation stage of the remanufacturing activity, in order to ensure its effectiveness and success.

KANDUNGAN

		Halaman
PENGAKUAN		ii
PENGHARGAAN		iii
ABSTRAK		iv
ABSTRACT		v
KANDUNGAN		vi
SENARAI JADUAL		x
SENARAI RAJAH		xi
SENARAI SINGKATAN		xiii
BAB I	Pengenalan	
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Kelestarian Alam Sekitar	3
1.3	Permasalahan Kajian	4
1.4	Objektif Kajian	7
1.5	Skop Kajian	7
1.6	Kepentingan Kajian	8
1.7	Organisasi Tesis	9
BAB II	Kajian Kepustakaan	
2.1	Pengenalan	11
2.2	Konsep Kelestarian dalam Pembangunan Produk	11
2.3	Teknologi Hijau dan Strategi Konsep Reka Bentuk Untuk Persekitaran	12
	2.3.1 Reka Bentuk Untuk Guna Semula	15
	2.3.2 Reka Bentuk Untuk Kitar Semula	16
	2.3.3 Reka Bentuk Untuk Pembuatan Semula	17
	2.3.4 Reka Bentuk Untuk X	18
2.4	Pembuatan Semula dalam Industri Pembuatan	20
	2.4.1 Definisi	20
	2.4.2 Perkembangan Pembuatan Semula dalam Sektor Automotif secara Global	28
	2.4.3 Perkembangan Aktiviti Pembuatan Semula bagi Pengeluar Automotif	35

	2.4.4	Kelebihan dan Kekurangan Aktiviti Pembuatan Semula dalam Bidang Automotif	25
2.5		Pembangunan Lestari Industri Automotif Negara	41
	2.5.1	Akta dan Perundangan yang Berkaitan	42
2.6		Kajian Metodologi Pemodelan bagi Pembuat Keputusan dalam Sektor Pembuatan Semula	42
	2.6.1	Proses Analisis Hierarki (<i>Analytical Hierarchy Process, AHP</i>)	43
	2.6.2	Kecerdasan Buatan (<i>Artificial Intelligence, AI</i>)	45
	2.6.3	Model Simulasi (<i>Modeling Simulation</i>)	47
2.7		Rumusan	53
BAB III		METODOLOGI KAJIAN	
3.1		Pengenalan	55
3.2		Carta Alir Metodologi Kajian	55
3.3		Kajian Kes – Soal Selidik dan Temu Bual	58
	3.3.1	Penyediaan dan Pembangunan Soalan	59
	3.3.2	Pemilihan Responden	65
	3.3.3	Pengumpulan dan Analisis Data Serta Perbincangan Keputusan	66
3.4		Pembangunan Model Simulasi Berdasarkan Integrasi Konsep Kejuruteraan Pembuat Keputusan <i>Discrete Event Simulation (DES)</i> dan <i>System Dynamics (SD)</i>	68
	3.4.1	Proses Pemodelan Discrete Event Simulation	68
	3.4.2	Proses Pemodelan Sistem Dinamik	72
	3.4.3	Proses Integrasi Model	79
3.5		Penentuan Model Simulasi Yang Dibangunkan	80
3.6		Pembangunan Model DES Menggunakan ARENA™	80
3.8		Pembangunan Model SD Menggunakan VENSIM®	81
3.9		Rumusan	82
BAB IV		KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN: KAJIAN STATUS INDUSTRI PEMBUATAN SEMULA DI MALAYSIA	
4.1		Pengenalan	84
4.2		Soalan Kaji Selidik	84
	4.2.1	Profil Responden Kaji Selidik	86
	4.2.2	Pengiktirafan dan Kesedaran Awam Terhadap Kenderaan Mesra-Alam	90

4.2.3	Pelaksanaan Dasar ‘Kenderaan-Akhir-Hayat’; Kelebihan dan Kekurangan Serta Impaknya Terhadap Industri Automotif Malaysia	92
4.2.4	Konsep ‘Pembuatan Semula’ Dari Sudut Pandangan Pengilang Automotif Malaysia	92
4.3	Soalan Temu Bual	99
4.3.1	Profil Responden Temu Bual	100
4.3.2	Keputusan Temu Bual	101
4.3.3	Perbincangan Analisis Keputusan Temu Bual	101
4.4	Rumusan	104
 BAB V		
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN: PEMBANGUNAN MODEL SIMULASI		
5.1	Pengenalan	105
5.2	Fasa Konsep dan Pengumpulan Data	105
5.3	Fasa Pemodelan	110
5.3.1	Model DES	110
5.3.2	Model SD	113
5.3.3	Penentuan Data Model	120
5.4	Fasa Integrasi	121
5.4.1	Keputusan dan Perbincangan Analisis Model DES	121
5.4.2	Keputusan dan Perbincangan Model SD	122
5.4.3	Kelebihan dan Kesan Model Simulasi	134
5.5	Penentuan Keputusan Simulasi Model	138
5.6	Rumusan	140
 BAB VI		
KESIMPULAN DAN CADANGAN KAJIAN LANJUTAN		
6.1	Rumusan dan Penemuan Kajian	143
6.2	Sumbangan Kajian	146
6.2.1	Sumbangan Teori	146
6.2.2	Sumbangan Praktikal	146
6.2.3	Sumbangan Organisasi	147
6.4	Cadangan Kajian Lanjutan	147
6.5	Penutup	148

RUJUKAN	149
LAMPIRAN A	163
LAMPIRAN B	164
LAMPIRAN C	171

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
Jadual 2.1	Jualan Kenderaan di Malaysia pada tahun 2016 berdasarkan pengilang	33
Jadual 2.2	Pelan Hala Tuju NAP 2014	39
Jadual 2.3	Perbandingan antara teknik DES dan SD	50
Jadual 3.1	Perbandingan perisian DES	69
Jadual 3.2	Perbandingan perisian SD	75
Jadual 4.1	Senarai soalan kaji selidik yang dibangunkan	84
Jadual 4.2	Keputusan bagi soalan kaji selidik bahagian B	94
Jadual 4.3	Senarai soalan temu bual yang dibangunkan	98
Jadual 5.1	Hasil keputusan kaji selidik data pengumpulan	109
Jadual 5.2	Jadual keputusan larian model DES	122
Jadual 5.3	Keputusan larian model DES	122
Jadual 5.4	Jawatan dan tahun pengalaman bagi panel penilai	138
Jadual 5.5	Keputusan penilaian pakar	139

SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
Rajah 1.1	Aliran sumber dan fasa-fasa utama dalam kitaran sesebuah produk	3
Rajah 2.1	Evolusi bagi aktiviti pembuatan lestari	13
Rajah 2.2	Strategi pemuliharaan produk	15
Rajah 2.3	Carta alir proses pembuatan semula	30
Rajah 2.4	Jumlah unit jualan kenderaan di Malaysia	34
Rajah 2.5	Jualan pasaran kenderaan hibrid di Malaysia	37
Rajah 3.1	Carta Alir Kajian Keseluruhan	55
Rajah 3.2	Carta alir kajian soal selidik dan temu bual	57
Rajah 3.3	Carta alir bagi pemodelan DES	67
Rajah 3.4	Carta alir bagi pemodelan SD	71
Rajah 3.5	Paparan antara muka perisian ARENA™	79
Rajah 3.6	Paparan antara muka perisian Vensim®	80
Rajah 4.1	Bilangan responden berdasarkan klasifikasi kumpulan sasaran terpencil	86
Rajah 4.2	Bilangan responden berdasarkan klasifikasi kumpulan umur	87
Rajah 4.3	Bilangan responden berdasarkan klasifikasi tahun pengalaman bekerja	87
Rajah 4.4	Bilangan responden berdasarkan klasifikasi tahap jawatan	88
Rajah 4.5	Elemen yang diberi keutamaan semasa membeli kenderaan baru oleh responden	89
Rajah 4.6	Peratusan penerimaan responden terhadap pelaksanaan ELV	91
Rajah 5.1	Model Konsep bagi sistem pembuatan semula	107
Rajah 5.2	Paparan model DES dengan menggunakan perisian ARENA™	111

Rajah 5.3	Paparan model SD dengan menggunakan perisian Vensim®	115
Rajah 5.4	Paparan <i>causes tree</i> yang dihasilkan menerusi perisian Vensim®	117
Rajah 5.5	Rajah tettingkap bagi pengesahan unit	120
Rajah 5.6	Rajah tettingkap bagi pengesahan persamaan dan struktur model	120
Rajah 5.7	Graf nilai motivasi pekerja	123
Rajah 5.8	Graf beban pekerja terhadap jumlah produk siap	124
Rajah 5.9	Graf nilai sensitiviti bagi nilai motivasi	126
Rajah 5.10	Graf kualiti produk	127
Rajah 5.11	Graf nilai beban pekerja terhadap kadar permintaan produk	128
Rajah 5.12	Graf jumlah jualan produk	130
Rajah 5.13	Graf analisis sensitiviti kualiti produk	131
Rajah 5.14	Graf analisis sensitiviti jumlah jualan produk	132
Rajah 5.15	Paparan keputusan simulasi dengan menggunakan aplikasi SyntheSim dalam perisian Vensim®	135
Rajah 5.16	Penambahan pemboleh ubah baru dalam model SD	137

SENARAI SINGKATAN

<i>4R2S</i>	<i>Repair, Reuse, Recycle, Remanufacture, Service and Spare Parts</i>
<i>ACEA</i>	<i>Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (European Automobiles Manufacturers Association)</i>
<i>APRA</i>	<i>Automotive Parts Remanufacturers Association</i>
<i>ASR</i>	<i>Automobile Shredding Residue</i>
<i>BSI</i>	<i>The British Standards Institution</i>
<i>CAA</i>	<i>Clean Air Act</i>
<i>CWA</i>	<i>Clean Water Act</i>
<i>DES</i>	<i>Discrete Event Simulation</i>
<i>DfD</i>	<i>Design for Disassembly</i>
<i>DfE</i>	<i>Design for Environment</i>
<i>DfR</i>	<i>Design for Recycling</i>
<i>DfReman</i>	<i>Design for Remanufacturing</i>
<i>DfX</i>	<i>Design for X</i>
<i>ELV</i>	<i>End-of-Life Vehicle</i>
<i>EOL</i>	<i>End-of-Life</i>
<i>EPR</i>	<i>Extended Producer Responsibility</i>
<i>EU</i>	<i>European Union</i>
<i>JAPRA</i>	<i>Japan Automotive Parts Recyclers Association</i>
<i>KATS</i>	<i>Korean Agency for Technology and Standards</i>
<i>MAARA</i>	<i>Malaysian Automotive Recyclers Association</i>
<i>MAI</i>	<i>Malaysia Automotive Institute</i>
<i>MPC</i>	<i>Malaysia Productivity Corporation</i>
<i>NAP</i>	<i>National Automotive Policy</i>
<i>OEM</i>	<i>Original Equipment Manufacturer</i>

<i>OICA</i>	<i>Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers)</i>
<i>RCRA</i>	<i>Resource Conservation and Recovery Act</i>
<i>SD</i>	<i>System Dynamics</i>
<i>TIV</i>	<i>Total Industry Volume</i>
<i>UIO</i>	<i>Unit in Operation</i>
<i>WCED</i>	<i>World Commission on Environment and Development</i>
<i>WOM</i>	<i>Word of Mouth</i>

BAB I

PENGENALAN

1.1 LATAR BELAKANG

Selari dengan arus modenisasi dunia, proses mereka bentuk dan mengilang/membuat sesuatu produk dalam industri pembuatan telah melalui pelbagai anjakan paradigma. Pembangunan industri pembuatan yang lestari telah menjana kesedaran dunia antarabangsa masa kini mengenai usaha pemeliharaan dan pemulihan sumber alam sekitar semula jadi supaya ianya dapat ditadbir dengan bijaksana untuk kepentingan generasi akan datang. Satu kajian pada awal 1970-an melaporkan bermulanya anjakan perubahan daripada konsep konvensional "mereka bentuk untuk keperluan" kepada "mereka bentuk untuk persekitaran" (Madge 1993).

Persidangan "*World Commission on Environment and Development (WCED)*" yang diadakan pada 1987 telah membuka mata para penyelidik mengenai isu pembangunan lestari. Konsep tersebut didefinisikan sebagai "*A development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*". Justeru, semua produk yang direka dan dibangunkan perlu memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dengan mengambil kira kesan minimum terhadap persekitaran (Commission et al. 2002).

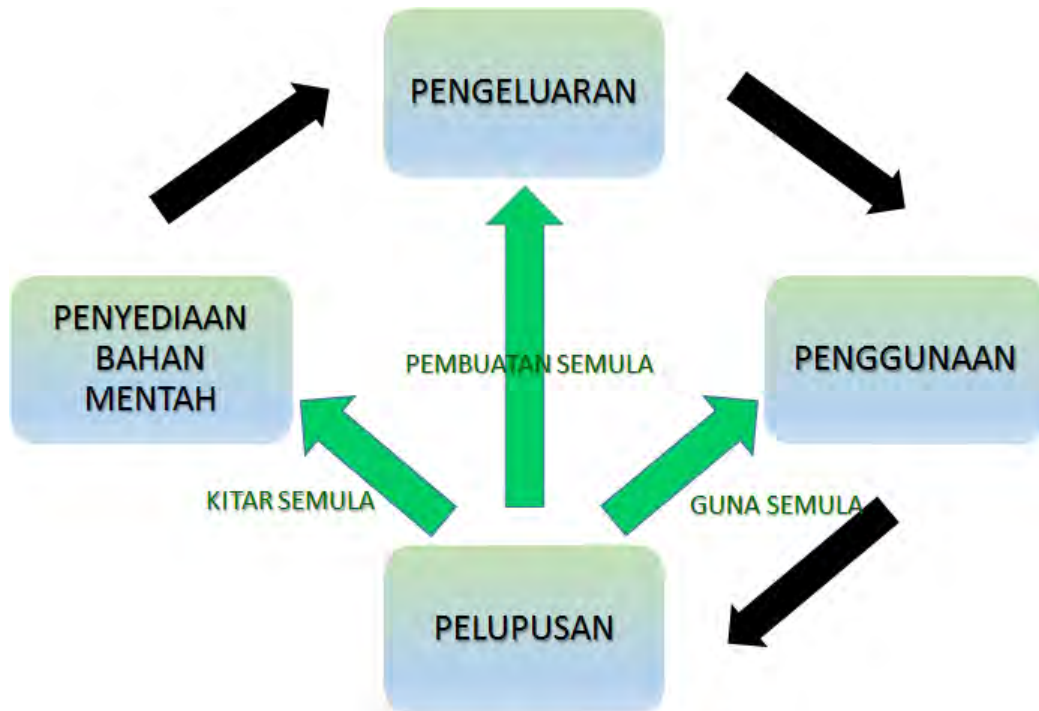
Dalam kajian terdahulu, ia juga turut menekankan mengenai inovasi kepada teknologi yang mesra alam yang mana ia diperlukan seiring dengan perkembangan berterusan industri pembuatan (Morioka et al. 2006). Peningkatan amalan industri hijau atau konsep kelestarian dalam industri pembuatan ini semakin menjadi isu yang penting dan amat dititikberatkan (Seliger et al. 2008). Ini disokong dengan kajian yang mencadangkan pembuatan lestari adalah berpaksikan kepada elemen alam sekitar serta

cabaran ekonomi dan sosial (Jovane et al. 2008). Walau bagaimanapun, usaha bagi merealisasikan pembangunan dan pengeluaran perindustrian dijalankan tanpa menjejaskan kualiti alam sekitar atau kesihatan manusia adalah merupakan satu cabaran yang kritikal. Ini adalah berikutan sumber tidak boleh diperbaharui yang terhad, justeru akta dan peraturan yang berkaitan dengan alam sekitar dan keselamatan pekerjaan serta kehendak dan keutamaan pengguna terhadap produk mesra alam yang lebih ketat telah dilaksanakan (Jayal et al. 2010).

Kesan atau impak terhadap alam sekitar sesebuah produk berlaku di semua peringkat kitaran hayat produk tersebut. Ianya bermula dengan proses pengekstrakan sumber asli untuk input bahan mentah, kemudian ianya beralih kepada proses pembuatan dan pengeluaran, seterusnya digunakan dan berakhir dengan aktiviti pelupusan (Rajah 1.1). Walau bagaimanapun, rajah tersebut juga menggambarkan tiga pilihan aktiviti pemulihan balik sumber yang dapat dilaksanakan berdasarkan pada setiap peringkat kitaran hayat produk, iaitu kitar semula (*recycle*), guna semula (*reuse*) dan pembuatan semula (*remanufacture*) (Giudice et al. 2006). Aktiviti pemulihan yang dicadangkan ini dapat membantu mengekang penggunaan sumber alam semula jadi secara tidak terkawal. Pilihan aktiviti pemulihan yang sesuai dan optimum bagi meningkatkan kelestarian produk ini merupakan satu aliran proses bermula dari proses perancangan, pelaksanaan dan pengawalan cekap aliran kos bahan mentah, pembuatan dan barangan siap serta semua maklumat lain yang berkaitan (Govindan et al. 2014). Ianya bertujuan supaya nilai penebusan produk atau pelupusan yang sempurna dapat dilakukan selaras dengan tujuan pembuatan lestari.

Namun, kajian mendapati sebahagian besar produk memberi kesan negatif terhadap alam sekitar semasa ianya berada pada fasa 'reka bentuk', iaitu apabila penentuan dan pemilihan bahan-bahan dilakukan serta prestasi produk ditentukan (M. Hundal 2000). Maka, dalam usaha untuk mereka bentuk dan membangunkan produk yang lebih mesra alam, mereka yang terlibat dalam fasa tersebut perlu mempunyai pengetahuan yang mendalam dalam konsep-konsep kejuruteraan dan reka bentuk yang berasaskan teknologi hijau. Ini dapat dilihat dengan kelahiran konsep-konsep reka bentuk seperti Reka bentuk untuk Persekitaran (*Design for Environment*), Reka bentuk Hijau (*Green Design*) dan Reka bentuk berteraskan Alam Sekitar (*Environmentally*

Conscious Design) yang mana boleh dilihat semasa dekad 1990-an (Dowie 1994; Fiksel & Wapman 1994; Gungor & Gupta 1999; Zhang 1997).



Rajah 1.1 Aliran sumber dan fasa-fasa utama dalam kitaran sesebuah produk

Sumber: Giudice et al. 2006

1.2 KELESTARIAN ALAM SEKITAR

Menurut Kamus Dewan Edisi Keempat (2005), pencemaran didefinisikan sebagai suatu perbuatan yang mencemarkan (mengotorkan) dan pengotoran alam pula ditakrifkan sebagai perbuatan mencemarkan kebersihan alam sekeliling dengan sampah sarap. Manakala pelestarian atau pemuliharaan bermaksud perbuatan atau hal memelihara sesuatu supaya kekal seperti sedia kala. Adalah menjadi tanggungjawab manusia untuk menyedari betapa pentingnya menjaga alam sekitar supaya tidak dirosakkan dengan sewenang-wenangnya dalam apa jua cara untuk mengelakkan kesan buruk kepada generasi yang akan datang.

Menyorot perkembangan di Malaysia, isu pencemaran alam sekitar dan amalan-amalan pemeliharaan merupakan isu sejagat yang kian hangat diperbincangkan. Kemerosotan alam sekitar ini merupakan kesan negatif di sebalik pembangunan pesat

sektor ekonomi dan perindustrian. Sisa industri dari sektor pembuatan khususnya, telah dikenal pasti antara penyumbang kepada pencemaran alam sekitar (Moh & Abd Manaf 2014; Mohamed 2009). Namun begitu, laporan yang dikeluarkan oleh Perbadanan Produktiviti Malaysia (MPC) telah melihat beberapa inisiatif industri hijau yang dilaksanakan oleh beberapa syarikat multinasional di Malaysia seperti Panasonic, General Electric (GE) dan Toyota (Malaysia Productivity Corporation (MPC) 2010). Selari dengan piagam syarikat, pembangunan dan pengeluaran produk perindustrian dijalankan tanpa menjejaskan kualiti alam sekitar atau kesihatan serta mengambilkira kepentingan alam sekitar, ekonomi dan sosial ke dalam operasi kilang (Zubir & Habidin 2012).

1.3 PERMASALAHAN KAJIAN

Pembangunan pesat sektor ekonomi dan perindustrian serta kestabilan politik dan sosial perlu dalam usaha untuk memberikan taraf hidup yang selesa kepada rakyat dan menaikkan imej negara di kaca mata dunia. Perkembangan industri automotif negara yang begitu memberangsangkan khususnya telah menjadi salah satu daripada tonggak kepada proses pembangunan dan pertumbuhan ekonomi negara. Ini dilihat daripada sumbangan sebanyak 3.2 peratus kepada Keluaran Dalam Negara Kasar (KDNK) yang memberi nilai jumlah eksport sebanyak RM5.3 bilion, jumlah pelaburan sebanyak RM5 bilion (Januari-Oktober 2013:RM3 bilion) dan jumlah pekerja sebanyak 550,000 pada tahun 2012 (Ministry of International Trade and Industry 2009).

Perkembangan positif pertumbuhan sektor automotif negara ini turut menyaksikan peningkatan jumlah jualan industri (*Total Industry Volume, TIV*) bagi kenderaan di Malaysia dari setahun ke setahun. Namun begitu, ia dilihat menjadi satu isu yang menjadi tekanan dan memberikan impak negatif terhadap alam sekitar. Potensi cemerlang dan stabil ini juga membawa kepada penambahan jumlah unit dalam operasi (*Unit in Operation, UIO*) bagi kenderaan di atas jalan raya. Secara tidak langsung ia juga menyumbang kepada peningkatan kuantiti kenderaan yang tidak digunakan atau perlu dilupuskan dan seterusnya menyebabkan berlakunya lambakan bagi kenderaan sisa akhir hayat. Walaupun masalah ini sudah dikenal pasti, namun tiada mekanisme

jelas yang diperkenalkan dalam usaha menggalakkan pelupusan dan pembuangan yang lebih sistematik bagi komponen dan kenderaan yang akhir hayat.

Di peringkat global contohnya di negara–negara maju seperti United Kingdom, Jepun dan Jerman, saban tahun lebih daripada 25 juta kenderaan telah dikenal pasti menjadi kenderaan akhir hayat (*End-of-Life Vehicle, ELV*) dan kebanyakan daripadanya berakhir di tapak pelupusan sampah (Singh et al. 2017). Lantaran itu, aktiviti pemulihan balik sumber yang berteraskan aplikasi konsep teknologi hijau ini seperti guna-semula, kitar-semula dan pembuatan semula semakin dikenali dan dipertimbangkan dalam usaha untuk menyelesaikan isu tersebut (Despeisse et al. 2015). Di kalangan industri automotif, konsep pembuatan semula adalah satu strategi yang diberi perhatian di dalam usaha mereka bagi mengurangkan penggunaan sumber alam semula jadi sejajar dengan peraturan dan pelaksanaan dasar akhir hayat kenderaan di negara-negara tersebut (Golinska & Kawa 2011; Ikeda 2017; Ridley & Ijomah 2015; Sitcharangsie et al. 2017).

Justeru, dengan mengambil kira perkembangan terkini industri automotif di peringkat serantau dan antarabangsa, industri automotif tempatan juga perlu menambah baik sistem pelaksanaan aktiviti membabitkan bidang teknologi mesra alam ini. Selaras dengan perkembangan teori-teori teknologi hijau yang relevan dan fenomena terkini, teknologi pembuatan semula merupakan salah satu alternatif terbaik dalam menangani masalah lambakan kenderaan terpakai dan mengurangkan penggunaan sumber alam semula jadi. Pelaksanaan proses pembuatan semula adalah satu kewajaran bagi meningkatkan keupayaan berdaya saing dan memastikan pembangunan berterusan industri automotif tempatan.

Dalam perkembangan terbaru, bermula Januari 2014, kerajaan menerusi Kementerian Perdagangan Antarabangsa dan Industri telah membentangkan Dasar Automotif Nasional (NAP 2014) yang mana satu pelan hala tuju yang memberikan perhatian khusus kepada aktiviti pembuatan semula dalam industri automotif telah dimasukkan. Sejajar dengan itu, pertumbuhan dan perkembangan aktiviti ini semakin mendapat tempat dan mula dipromosikan di kalangan industri automotif tempatan. Namun begitu, faktor-faktor yang mempengaruhi keberkesanan aktiviti pembuatan semula ini berdasarkan pengalaman negara-negara maju yang sudah terkehadapan

dalam aktiviti pembuatan semula ini perlu dirujuk. Ini termasuklah seperti ketidakcukupan tenaga kerja yang mahir, bekalan produk yang terhad, kekurangan pengetahuan dan publisiti dan lain-lain (Centre for Remanufacturing and Reuse 2015). Elemen-elemen ketidakpastian inilah yang mempengaruhi perkembangan aktiviti pembuatan semula dalam industri automotif dan menjadi cabaran yang perlu dihadapi bagi memastikan ia dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien di Malaysia.

Pelaksanaan aktiviti dan pengurusan organisasi bagi pelaksanaan aktiviti pembuatan semula dalam industri automotif dikira amat mencabar kerana tingkah laku dinamik industri itu sendiri. Sifat industri automotif yang sangat kompetitif serta keadaan turun naik pasaran semasa yang tidak menentu menjadikan industri ini mempunyai isu tingkah laku yang dinamik dan sangat kompleks. Permintaan dan perspektif pelanggan yang tidak diduga dan secara individu, ketidakcukupan tenaga kerja mahir, keperluan teknikal serta keterlibatan kos dan permintaan kualiti yang lebih tinggi adalah antara yang sering menjadi isu.

Fenomena kompleks ini berlaku apabila ia melibatkan banyak faktor yang saling berkaitan namun dalam konteks yang berbeza. Disebabkan ini, masalah tersebut memerlukan satu teknik kajian yang dapat menangani kerumitan yang terhasil dan juga mampu dilihat dari perspektif yang lain. Seperti yang dinyatakan oleh Edmonds (2005) bahawa teknik simulasi adalah satu-satunya pilihan untuk memodelkan sebarang bentuk kelakuan jika ia melibatkan satu kajian yang kompleks dan ini disokong dengan kajian yang dilaksanakan. Ini adalah kerana dalam sistem yang kompleks, interaksi antara bahagian boleh mengganggu prestasi sesebuah sistem yang dilaksanakan.

Tambahan lagi, Sterman (2000) juga ada menekankan bahawa tanpa simulasi, model konsep hanya boleh diuji dan diperbaiki dengan berpandukan kepada maklum balas melalui pengalaman realiti yang sangat perlahan dan seringkali tidak berkesan disebabkan oleh tingkah laku dinamik yang kompleks, kelengahan masa, maklum balas yang tidak mencukupi serta tidak jelas, kos uji kaji yang tinggi dan pelbagai alasan lagi. Justeru, adalah dicadangkan bahawa model pembuat keputusan strategik dibangunkan untuk membantu menyelesaikan masalah pembuatan semula yang disebutkan dan

seterusnya memastikan keberkesanan pelaksanaan pembuatan semula dalam industri automotif di Malaysia.

1.4 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif kajian ini adalah seperti berikut:

- 1) Menilai potensi dan tahap pelaksanaan aktiviti pembuatan semula dalam industri automotif Malaysia.
- 2) Mengenal pasti faktor-faktor yang diperlukan bagi pelaksanaan industri pembuatan semula.
- 3) Membangunkan satu model simulasi hibrid untuk aplikasi sistem pembuat keputusan bagi membantu pelaksanaan aktiviti pembuatan semula dalam industri automotif Malaysia.
- 4) Menguji dan menentusahkan model simulasi hibrid yang dibangunkan bagi tujuan pelaksanaan yang optimum.

1.5 SKOP KAJIAN

Skop kajian ini memfokuskan kepada pihak-pihak yang berkepentingan dalam industri pengangkutan di Malaysia sahaja. Responden bagi kajian awal soal selidik dan temu bual yang dilakukan adalah bertumpu kepada 3 kumpulan sasaran berfokus yang berkepentingan dan terlibat secara langsung dalam sektor automotif tempatan sahaja iaitu organisasi pengeluar pembuatan automotif, agensi kerajaan dan pihak penguatkuasaan. Selain itu, skop kajian ini juga melibatkan kupasan daripada analisis data yang dikumpul. Ia digunakan bagi membangunkan satu model simulasi hibrid bagi melihat potensi dan seterusnya membantu sistem pembuat keputusan dalam pelaksanaan aktiviti pembuatan semula industri automotif di Malaysia. Namun, kajian dan model pembuat keputusan ini tidak mengambilkira kos pembangunan dan

penyelenggaraan fasiliti. Ini adalah kerana ia melibatkan pihak berautoriti yang berlainan dan juga membabitkan pelan hala tuju yang berbeza dalam NAP 2014 yang dibentangkan.

1.6 KEPENTINGAN KAJIAN

Kajian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana potensi aktiviti pembuatan semula dipraktikkan dalam industri automotif Malaysia. Bidang ini perlu dikaji dengan lebih mendalam selaras dengan pengenalan Dasar Automotif Nasional oleh kerajaan yang memberi penekanan terhadap aktiviti pembangunan teknologi dan kejuruteraan paling moden dengan mengambil kira jaminan terhadap isu keselamatan dan alam sekitar.

Ini disokong dengan kajian yang menyatakan bahawa aktiviti pembuatan semula ini memberi manfaat yang signifikan terhadap alam sekitar di Malaysia dengan mengurangkan kira-kira 37k tan sisa pelupusan dan menurunkan lebih kurang 62k tan pelepasan sisa karbon dioksida ke atmosfera.

Dari segi ekonomi pula, pasaran untuk komponen-komponen buatan semula dalam industri automotif bukan sahaja menjanjikan pulangan yang hebat yang mana ia dianggarkan sehingga boleh mencecah RM345 juta, malah ia juga dikatakan mempunyai potensi untuk berkembang kepada RM670 juta.

Justeru, sejajar dengan pengenalan pelan hala tuju pembuatan semula dalam NAP 2014, kepentingan aktiviti penyelidikan dan pembangunan perlu diutamakan. Pembangunan dan pelaksanaan teknologi pembuatan semula ini diharap dapat memberi sumbangan yang signifikan kepada keseluruhan pembangunan industri automotif negara.

Dengan mengambil kira pembangunan aktiviti pembuatan semula ini masih berada pada tahap awal perancangan dan pelaksanaan, pemodelan simulasi secara hibrid dikenal pasti sebagai satu pendekatan berkesan yang di cadangkan. Ini adalah kerana model simulasi hibrid ini dapat menyelesaikan masalah dinamik proses pembuatan semula serta boleh mentakrifkan hubungan-sebab dan akibat dengan wawasan tambahan. Secara khususnya, model simulasi hibrid ini melibatkan teknik simulasi

Discrete Event Simulation (DES) dan *System Dynamic (SD)*. Secara umumnya, model simulasi DES diaplikasikan terhadap perancangan operasi/taktikal yang mana ia akan mengenal pasti elemen yang mengalami proses kesesakan dengan pemilihan cadangan bagi mengatasi masalah terbabit. Maka, penggunaan model DES dalam menilai dan menambah baik prestasi operasi sistem pengeluaran bagi sektor pembuatan sering menjadi pilihan organisasi. Manakala, model SD pula melibatkan perancangan strategik yang melihat hala tuju aktiviti dalam jangka masa panjang. Penganalisisan trend persekitaran dalaman dan luaran, pengenalpastian isu-isu strategik serta penggubalan strategi-strategi ke arah pencapaian objektif adalah antara pendekatan yang perlu pihak pengurusan pertimbangkan. Secara ringkasnya, model SD ini membolehkan pembuat keputusan untuk meneroka polisi dan dasar untuk dilaksanakan bagi memastikan keberkesanan pelaksanaan. Namun begitu, kedua-dua model SD dan DES ini mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Justeru, cadangan penggabungan kedua-dua model ini yang dapat saling melengkapi keterbatasan dan kekurangan satu sama lain dengan kelebihan masing-masing dikira sangat membantu dalam menambah baik proses membuat keputusan semasa pelaksanaan proses pembuatan semula dalam industri automotif negara.

1.7 ORGANISASI TESIS

Tesis ini distrukturkan kepada enam bab. Bab 1 adalah pendahuluan yang dimulai dengan latar belakang kajian dan diikuti dengan pentakrifan tajuk utama mengenai kelestarian alam sekitar. Ini diikuti dengan permasalahan kajian, objektif kajian, skop kajian dan kepentingan kajian ini pada masyarakat. Bab 2 ialah kajian kepustakaan, di mana ia membincangkan mengenai konsep kelestarian dalam pembangunan produk. Ia juga merangkumi kajian-kajian terdahulu termasuklah strategi konsep reka bentuk untuk persekitaran dan teknologi hijau seperti reka bentuk untuk kitar semula, reka bentuk untuk nyah pasangan dan juga reka bentuk untuk pembuatan semula. Seterusnya definisi dan takrifan serta kelebihan dan kekurangan aktiviti pembuatan semula juga turut dibincangkan. Selain itu, akta dan perundangan berkaitan pembangunan lestari industri automotif negara juga dihuraikan. Di dalam Bab 2 juga, instrumen-instrumen pemodelan bagi pembuat keputusan juga turut diperbincangkan. Bab 3 pula menjelaskan tentang metodologi yang digunakan dalam kajian. Carta alir metodologi