

Model Logik Kabur bagi Pemilihan Alternatif Penaiktarafan Prestasi dalam Pembuatan Semula: Kes Komponen Angkup Brek
 (Fuzzy Logic Model for Selection of Performance Upgrade Alternatives in Remanufacturing: Case of Brake Caliper Component)

Nurhasyimah Abd Aziz^{a,b*}, Dzuraidah Abd Wahab^{a,b}, Rizauddin Ramli^{a,b} & Abdul Hadi Azman^{a,b}

^aJabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan,
 Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
 Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

^bPusat Penyelidikan Automotif (CAR),
 Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
 Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

*Corresponding author: nurhasyimah@ukm.edu.my

Received 6 April 2024, Received in revised form 12 June 2024
 Accepted 12 May 2024, Available online 30 September 2024

ABSTRAK

Proses pembuatan semula bagi komponen automotif terpakai berdepan dengan cabaran dalam mendapatkan keyakinan di kalangan pengguna untuk menggunakan komponen yang telah dibuat semula. Penaiktarafan prestasi bagi komponen akhir hayat merupakan salah satu strategi pemanjangan kitar hayat bagi meningkatkan nilai kebolehubatan semula komponen untuk digunakan semula pada kitar hayat seterusnya. Walau bagaimanapun, pertimbangan dan penilaian yang terperinci diperlukan untuk memastikan penaiktarafan prestasi tersebut dapat dilaksanakan mengikut keperluan dan had selamat sistem pengoperasian kenderaan yang terlibat. Objektif utama kajian ini adalah membangunkan model pembuat keputusan bagi pemilihan alternatif penaiktarafan komponen angkup brek dengan mempertimbangkan beberapa kriteria iaitu tahap kesukaran penaiktarafan, kos, tahap prestasi yang dinaiktaraf dan tahap ketahanan selepas penaiktarafan. Model logik kabur telah digunakan untuk memenuhi objektif ini di mana penilaian kriteria dan pemilihan alternatif penaiktarafan dapat dilakukan dengan lebih tepat dan seterusnya kaedah purata wajaran digunakan untuk menentukan kedudukan alternatif yang terlibat. Hasil kajian menunjukkan kedudukan alternatif yang terbaik dan paling sesuai melalui model logik kabur dapat ditentukan iaitu kedudukan pertama adalah Alternatif 3 (0.86), kedua Alternatif 2 (0.63) dan terakhir Alternatif 1 (0.30). Secara keseluruhannya, kajian ini dapat menyokong penilaian kualitatif sewaktu proses membuat keputusan dilakukan melalui pembangunan model logik kabur.

Kata kunci: Penaiktarafan prestasi; logik kabur; pembuatan semula; angkup brek

ABSTRACT

The remanufacturing process for used automotive components faces challenges in gaining consumer confidence in using remanufactured components. Performance upgrade of end-of-life components is a strategy for extending the life cycle to enhance the remanufacturability value of components to be reused in subsequent life cycles. However, detailed consideration and assessment are required to ensure that the performance upgrade can be implemented according to the requirements and safety limits of the vehicle operating system. The main objective of this study is to develop a decision-making model for selecting alternative brake caliper upgrading considering several criteria, namely the difficulty level of upgrading, cost, upgraded performance level, and post-upgrade durability level. Fuzzy logic model is used to fulfill this objective, where criteria evaluation and alternative selection can be accomplished with more accurate and subsequently, the weighted average method was used to identify the ranking of the alternatives involved. The study results indicate the priority of the selected alternative with the ranking of alternative attained based on the fuzzy logic model which are the first rank is Alternative 3 (0.86), second is Alternative 2 (0.63) and lastly, Alternative 1 (0.30). Overall, this study can support qualitative multi-criteria assessment for decision-making process through the development of the fuzzy logic model.

Keywords: Performance upgrade; fuzzy logic; remanufacturing; brake caliper

PENGENALAN

Inisiatif pelaksanaan pengurusan bagi kenderaan akhir hayat (*End-of-life Vehicle*, ELV) di Malaysia kian mendapat perhatian di kalangan industri pembuatan serta badan berwajib yang berkaitan (Chong et al. 2023). Pengurusan ELV yang sistematik telah lama dilaksanakan di negara-negara maju dengan matlamat untuk mengurangkan sisa komponen kenderaan yang makin bertambah saban tahun selari dengan pertambahan pemilikan kenderaan di kalangan pengguna. Ekosistem yang stabil bagi proses atau aktiviti pemulihan seperti pembuatan semula, kitar semula dan guna semula komponen adalah perlu bagi membolehkan pengurusan ELV yang berkesan dapat dilaksanakan.

Proses pembuatan semula merupakan proses pemulihan yang mempunyai lima siri proses utama iaitu bermula dengan pemeriksaan keadaan komponen terpakai, peleraian, pembersihan, pemprosesan semula, pemasangan semula dan pengujian bagi memastikan komponen yang dibuat semula mempunyai kualiti yang sama atau lebih daripada komponen asal (Ijomah et al. 2009).

Melalui proses pembuatan semula, penaiktarafan prestasi berpotensi untuk dipertimbangkan sebagai nilai tambah. Namun, kebolehnaihtarafan suatu komponen memerlukan penelitian dan penilaian dari pelbagai aspek terutamanya dari aspek keselamatan serta kos perlu diambil kira untuk melaksanakan penaiktarafan prestasi (Wang et al. 2018). Penaiktarafan prestasi komponen terpakai melalui proses pembuatan semula juga dapat meningkatkan ciri kebolehubatan semula komponen dan sekaligus, menarik minat dan keyakinan pengguna untuk menggunakan komponen terpakai yang telah melalui proses pembuatan semula (Li et al. 2018). Ini kerana, proses pembuatan semula sering berdepan dengan cabaran kurangnya keyakinan terhadap kualiti produk terpakai yang telah dibuat semula disebabkan oleh kurangnya pengetahuan berkenaan bagaimana proses pembuatan semula dilaksanakan (Belbaş et al. 2023; Wang & Hazen 2016).

Oleh itu, suatu kaedah penilaian yang sistematik dan berkesan perlu dibangunkan. Ini telah dilakukan oleh pengkaji sebelum ini melalui Aziz et al. (2021) di mana satu model pembuat keputusan alternatif penaiktarafan prestasi melalui model Proses Analitik Hirarki Kabur

(*Fuzzy Analytical Hierarchy Process*, FAHP) telah dicadangkan. Melalui kajian Aziz et al. (2021) tersebut, penilaian kriteria berbilang bagi memilih alternatif terbaik melalui model FAHP telah dilaksanakan. Namun, penilaian menggunakan FAHP memerlukan kajian lanjutan dari segi pengaplikasian dapatan yang diperoleh kerana model tersebut hanya melibatkan penilaian daripada pakar yang memberikan pandangan dan skor keutamaan bagi alternatif yang sesuai dipertimbangkan untuk penaiktarafan prestasi komponen angkup brek.

Jadi, kajian ini akan menyokong bagaimana hasil dapatan daripada penilaian model FAHP tersebut dapat dimanfaatkan oleh pengguna yang memilih untuk mengguna semula komponen terpakai dengan menaiktaraf prestasi melalui proses pembuatan semula. Kajian ini akan memfokus kepada pembangunan model logik kabur melalui sistem pentaabiran kabur (*Fuzzy Inference System*, FIS) yang akan membantu pengguna atau pihak berkenaan membuat keputusan dalam pemilihan alternatif penaiktarafan prestasi yang bersesuaian dengan keperluan masing-masing.

APLIKASI MODEL LOGIK KABUR DALAM PEMBUATAN SEMULA

Model logik kabur merupakan salah satu sistem pakar berasaskan kecerdasan buatan (AI) yang digunakan dalam pelbagai aplikasi secara automasi khususnya melibatkan kawalan dan pengawasan, membuat keputusan dan juga ramalan data (Arslankaya, 2023). Ciri unik model logik kabur yang mempertimbangkan pembolehubah linguistik bagi penilaian input dan output bersifat kualitatif memberikan kelebihan model ini berbanding kaedah pemodelan matematik yang lain.

Beberapa kajian sebelumnya berkaitan pembuatan semula telah menggunakan model logik kabur untuk penilaian melibatkan perancangan proses peleraian, kecekapan proses pembuatan semula dan juga tahap kerosakan komponen yang ingin diguna semula. Kajian oleh Kafuku et al. (2019) memfokuskan aplikasi logik kabur untuk mengatasi kekaburan dalam pemilihan enam teknologi pembersihan yang sesuai dalam aktiviti

pembuatan semula dengan mempertimbangkan beberapa kriteria/input iaitu kos teknologi, kos pengoperasian dan kesan pelupusan.

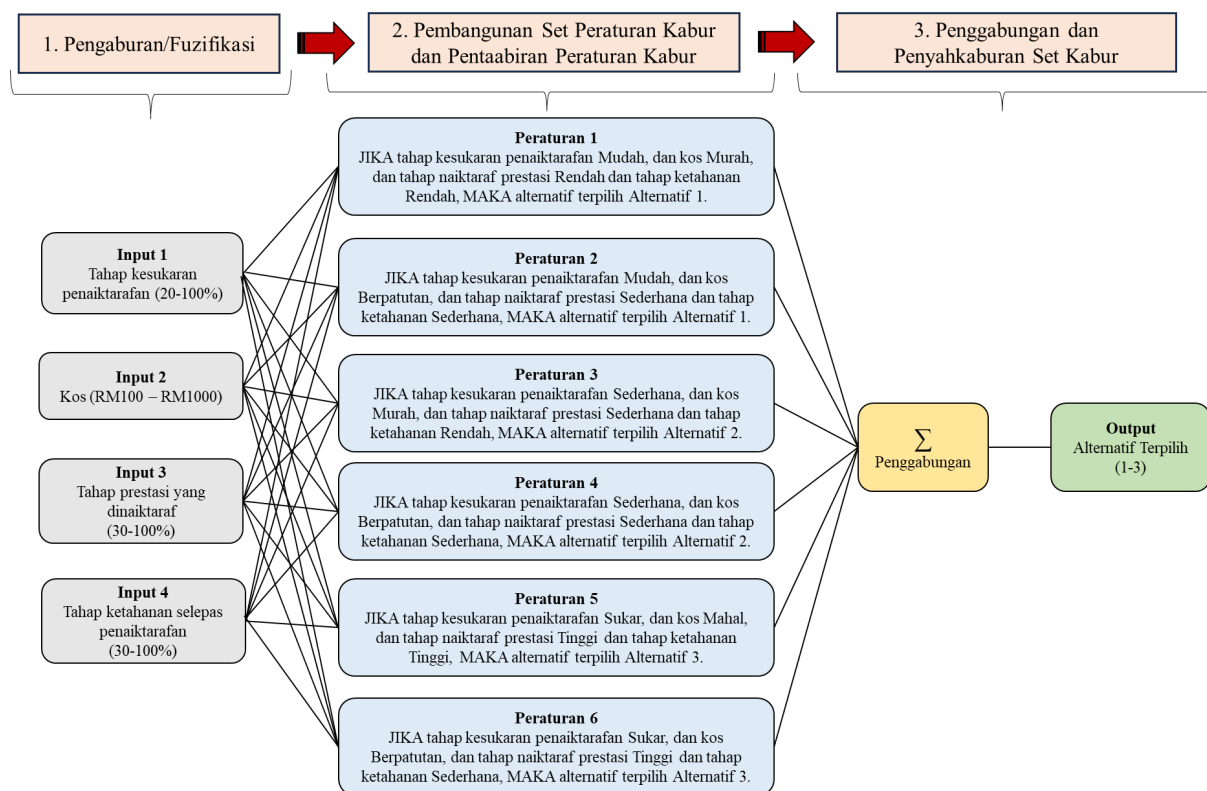
Manakala kajian oleh Habeeb et al. (2023) menggabungkan model logik kabur dengan algoritma genetik dalam membuat keputusan untuk proses pembaikan komponen pengecas turbo melalui pembuatan aditif dalam proses pembuatan semula. Penggabungan dua sistem AI dapat meningkatkan ketepatan penilaian di mana output yang diperoleh melalui logik kabur akan melalui proses pengoptimuman dengan menggunakan algoritma genetik. Namun, ianya melibatkan pemodelan yang lebih kompleks dan terperinci dengan penetapan fungsi objektif dalam algoritma tersebut.

Penggunaan model logik kabur dalam proses membuat keputusan bagi penaiktarafan prestasi adalah penting disebabkan terdapatnya perbezaan keutamaan dan pendapat dikalangan pengguna apabila ingin mempertimbangkan strategi tersebut (Wu et al. 2023; Chen et al. 2019).

Pertimbangan yang tepat dan bersesuaian bagi memilih alternatif penaiktarafan prestasi yang terbaik dapat membantu penilaian yang terperinci dilaksanakan melalui penentuan dan penetapan kriteria atau input berbilang yang dipertimbangkan dalam model logik kabur tersebut. Oleh itu, bahagian metodologi seterusnya akan menerangkan dengan lebih lanjut berkenaan prosedur yang terlibat bagi pembangunan set model logik kabur.

METODOLOGI

Bagi tujuan pembangunan set model logik kabur ini, terdapat lima langkah yang terlibat iaitu: 1) pengaburan atau fuzifikasi 2) pembangunan peraturan kabur dan pentaabiran peraturan kabur, 3) pentaabiran, 4) penggabungan dan 5) proses nyahkabur. Rajah 1 berikut menunjukkan langkah-langkah yang terlibat dan struktur pembangunan model logik kabur bagi kajian ini.



RAJAH 1. Langkah dan struktur pembangunan set model logik kabur bagi pemilihan alternatif penaiktarafan prestasi komponen angkup brek

Pembangunan awal set model kabur dalam peringkat pengaburan atau fuzifikasi melibatkan susun atur maklumat atau pengetahuan diwakili dalam bentuk berasaskan peraturan kabur “JIKA”- “MAKA”. Peraturan kabur “JIKA” - “MAKA” ini terdiri daripada keadaan atau premis

yang ingin dinilai berdasarkan kesan atau akibat yang ditetapkan. Oleh itu, pembangunan set model kabur melalui sistem pentaabiran kabur dapat membantu dalam proses membuat keputusan untuk memilih alternatif penaiktarafan prestasi yang paling sesuai berdasarkan kriteria yang dipertimbangkan.

Seterusnya, proses pentaabiran dilaksanakan dengan mengaplikasikan kaedah implikasi bagi membolehkan penilaian logik kabur terhadap peraturan kabur yang dibangunkan dan seterusnya menghasilkan output bagi setiap peraturan kabur.

Proses penggabungan selanjutnya akan menggabungkan kesemua output dari setiap peraturan, yang diperoleh dalam bentuk set kabur akan ditukar kepada nombor bulat melalui penyahkaburan. Proses penyahkaburan akan memberikan nilai yang sebenar melalui salah satu kaedah penyahkaburan di mana kajian ini akan menggunakan kaedah titik tengah gravity / luas centroid (*centre of gravity*, COG) melalui persamaan (1) yang berikut:

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_c(z) \, dz} \quad (1)$$

Dengan z^* adalah nilai tunggal selepas penyahkaburan, \int adalah operasi pengamiran algebra, z nilai julat bagi setiap tahap pembolehubah dan μ_c adalah nilai fungsi keahlian segitiga kabur.

Secara keseluruhannya, pembangunan model logik kabur ini dilaksanakan menggunakan perisian MATLAB melalui aplikasi *Fuzzy Logic Designer*.

PENENTUAN DAN PENETAPAN TAHAP BAGI SETIAP INPUT DAN OUTPUT

Pembolehubah linguistik merupakan ciri unik set model kabur di mana penilaian dibuat berdasarkan julat 0 hingga 1 dan bukannya 0 dan 1. Penentuan atau penetapan pembolehubah linguistik ini bergantung kepada input yang ingin dipertimbangkan dan output yang ingin dicapai. Input dan output ini juga merupakan premis/ keadaan dan akibat yang akan digunakan dalam pembangunan peraturan kabur “JIKA” - “MAKA”.

Input yang akan dipertimbangkan yang mempengaruhi faktor pemilihan alternatif penaiktarafan prestasi adalah dirujuk daripada kajian pengkaji yang sebelumnya. Jadual 1 menunjukkan senarai input dan output yang akan digunakan serta penetapan dari segi tahap, dan julat fungsi keahlian yang akan digunakan untuk pembangunan model set kabur.

Berdasarkan Jadual 1 tersebut, empat input yang menjadi fokus utama kajian adalah tahap kesukaran penaiktarafan, kos, tahap prestasi yang dinaiktaraf dan tahap ketahanan selepas penaiktarafan. Tiga input melibatkan tahap kesukaran penaiktarafan, tahap prestasi yang dinaiktaraf dan tahap ketahanan selepas penaiktarafan, diukur berdasarkan nilai peratusan yang bergantung kepada alternatif penaiktarafan yang terpilih, iaitu output bagi model logik kabur ini. Manakala bagi input kos, ianya melibatkan kos bersesuaian yang diperlukan untuk menaiktaraf prestasi dan bergantung kepada pilihan alternatif penaiktarafan.

JADUAL 1. Senarai input dan output untuk pembangunan model logik kabur

Parameter bagi penetapan set kabur	Input				Output
	Tahap kesukaran penaiktarafan (%)	Kos (RM)	Tahap prestasi yang dinaiktaraf (%)	Tahap ketahanan selepas penaiktarafan (%)	Alternatif yang dipilih
Pembolehubah linguistik	Rendah Sederhana Tinggi	Rendah Mampu Tinggi	Rendah Sederhana Tinggi	Rendah Sederhana Tinggi	Alternatif 1 Alternatif 2 Alternatif 3
Julat input dan output	[30 100] tahap kesukaran	[200 1000] julat RM	[20 100] julat %	[20 100] julat %	[1 3] bilangan alternatif
Jenis fungsi keahlian	Fungsi Keahlian Segitiga (Fungsi keahlian bagi setiap input dan output dibahagi sama rata untuk setiap tahap)				

Pertimbangan penaiktarafan prestasi memerlukan penilaian yang mendalam terutamanya dari aspek penukaran sub-komponen yang terlibat. Berdasarkan kajian

oleh Aziz et al. (2021), terdapat tiga alternatif utama melibatkan penaiktarafan prestasi sistem pembrekan kenderaan yang juga merupakan output dalam pembangunan model logik kabur bagi kajian ini, iaitu:

1. Alternatif 1: Penukaran pad brek dengan gred bahan yang berbeza
2. Alternatif 2: Penukaran cakera brek yang bersaiz diameter lebih besar
3. Alternatif 3: Penukaran kedua-dua pad brek dan cakera brek

Komponen angkup brek yang menjadi fokus dalam kajian ini adalah angkup brek bagi model Proton Persona. Komponen teras atau perumah angkup brek merupakan sub-komponen yang sesuai untuk dibuat semula yang mempunyai ketahanan yang tinggi untuk melalui pemanjangan atau pelanjutan hayat. Walau bagaimanapun, komponen yang lebih terdedah kepada kegagalan haus akibat geseran dan suhu yang tinggi seperti pad brek memerlukan penukaran komponen yang baharu sewaktu proses pembuatan semula dilaksanakan.

Secara keseluruhannya, kaedah pembangunan model logik kabur memerlukan penetapan input dan output yang bersesuaian dan bahagian seterusnya akan membincangkan aplikasi logik kabur sebagai panduan bagi pemilihan alternatif terbaik untuk penaiktarafan prestasi komponen angkup brek.

PENGESAHAN HASIL DAPATAN KESELURUHAN

Secara keseluruhannya, hasil dapatan yang diperoleh melalui model logik kabur akan melalui proses pengesahan dengan perbandingan keputusan yang diperoleh menggunakan kaedah FAHP dalam kajian sebelum ini. Dengan menggunakan nilai pemberat yang sama dengan kaedah FAHP dalam kajian sebelum ini, kaedah purata wajar (*weighted average method*) digunakan untuk menentukan kedudukan alternatif yang diperoleh melalui model logik kabur dan seterusnya, dibandingkan dengan kedudukan alternatif yang diperoleh melalui kaedah FAHP sebelum ini. Jadual 2 menunjukkan nilai pemberat bagi setiap input dengan mengambil kira tahap kepentingan input tersebut untuk memilih alternatif yang bersesuaian.

JADUAL 2. Nilai pemberat bagi setiap input untuk penentuan kedudukan alternatif

Input	Nilai pemberat
Input 1: Tahap kesukaran penaiktarafan (%)	0.275
Input 2: Kos (RM)	0.275
Input 3: Tahap prestasi yang dinaiktaraf (%)	0.225
Tahap ketahanan selepas penaiktarafan (%)	0.225
Jumlah keseluruhan	1.00

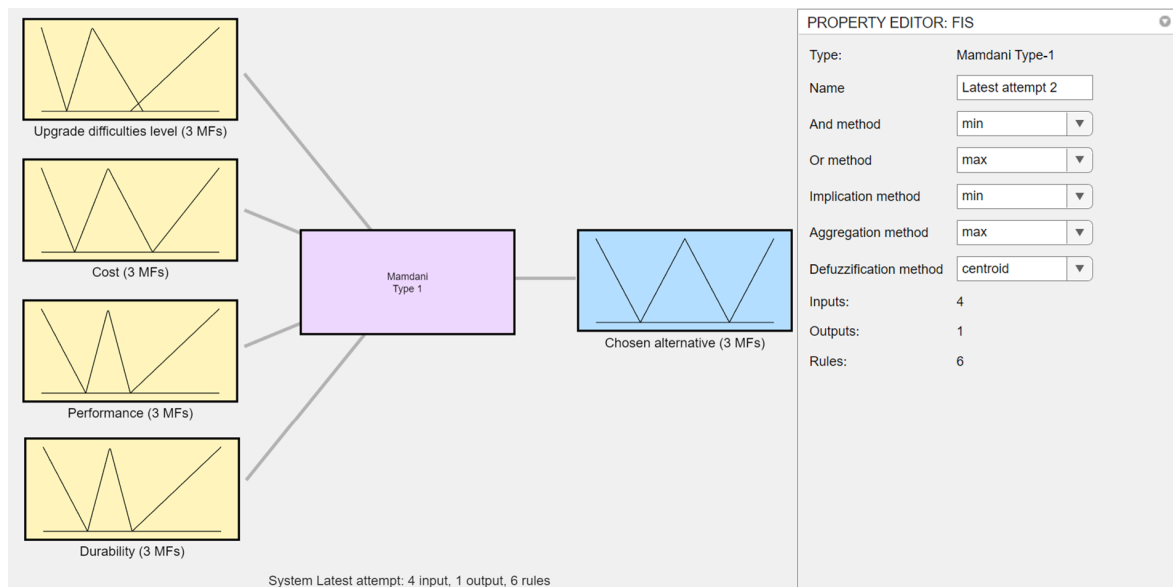
Nilai pemberat dalam Jadual 2 tersebut merupakan nilai yang telah ditambahbaik, di mana kajian Aziz et al. (2021) telah membahagikan input tersebut kepada beberapa aspek utama iaitu metrik kejuruteraan, kebolegunaan semula komponen dan senibina atau struktur komponen. Walaubagaimanapun, kajian ini hanya memfokuskan kepada aspek metrik kejuruteraan (Input 2 dan Input 3) dan kebolegunaan semula (Input 1 dan Input 4) komponen di mana kos merupakan input baru yang dipertimbangkan di bawah aspek metrik kejuruteraan.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

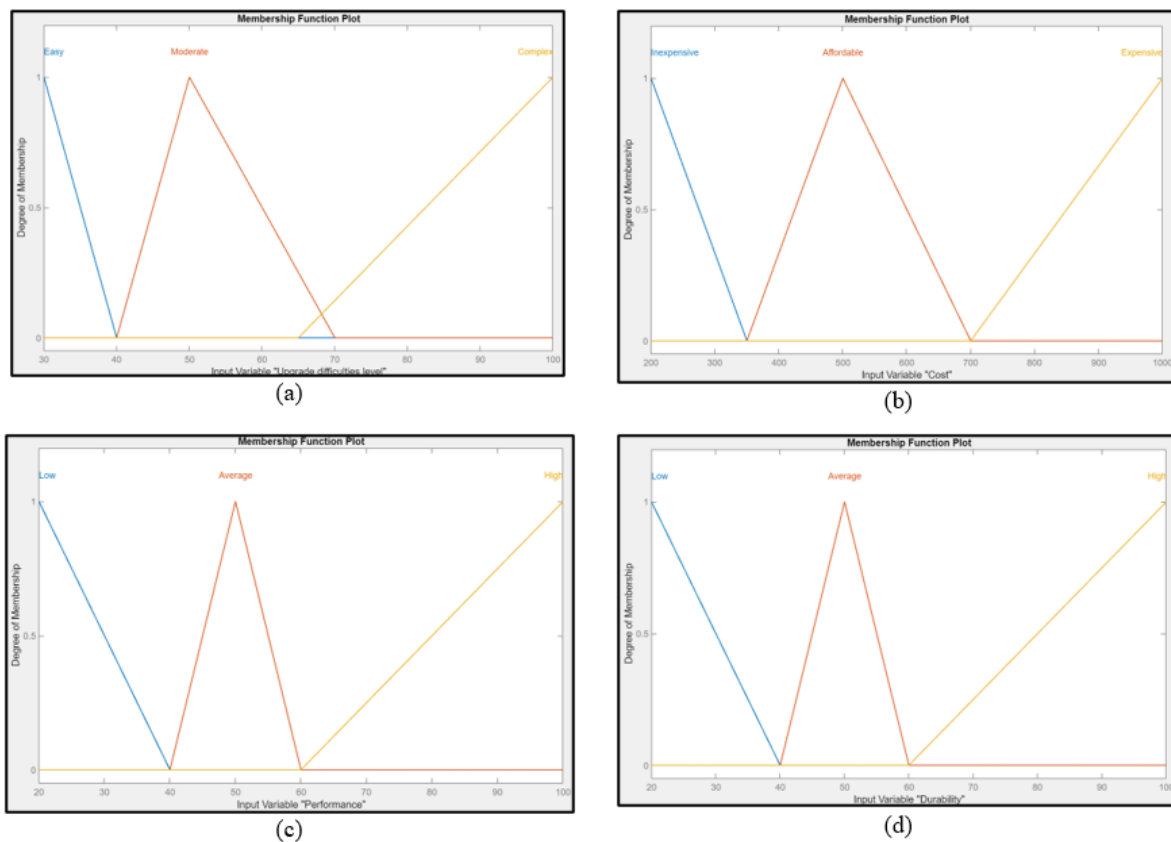
Bahagian ini akan membincangkan aplikasi model logik kabur dalam pemilihan alternatif bagi penaiktarafan prestasi komponen angkup brek. Model logik kabur mampu membantu dalam proses membuat keputusan yang melibatkan kriteria atau input berbilang serta penilaian kualitatif dan subjektif dengan lebih tepat melalui penetapan pembolehubah linguistik dan julat fungsi keahlian yang bersesuaian.

PEMBANGUNAN DAN PENETAPAN FUNGSI KEAHLIAN BAGI SETIAP INPUT DAN OUTPUT

Penetapan fungsi keahlian merupakan salah satu elemen penting dalam pembangunan model logik kabur berdasarkan nilai input dan output yang ditetapkan. Penetapan input dan output memerlukan pengetahuan serta pengalaman sebelumnya di mana kajian ini akan menggunakan serta menyokong model pembuat keputusan FAHP yang dibangunkan oleh pengkaji dalam kajian sebelumnya. Berdasarkan Jadual 1, penetapan fungsi keahlian dilaksanakan dengan menambah empat input serta satu output seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2 yang berikut melalui sistem antara muka *Fuzzy Logic Designer*, MATLAB. Sistem pentaabiran kabur yang digunakan adalah sistem Mamdani. Manakala fungsi keahlian segitiga bagi setiap input ditunjukkan dalam Rajah 3.



RAJAH 2. Penetapan input dan output dalam Fuzzy Inference System (FIS) menggunakan perisian MATLAB



RAJAH 3. Graf nilai fungsi keahlian segitiga bagi setiap input yang terlibat a) Tahap kesukaran penaiktarafan, b) Kos, c) Tahap prestasi yang dinaiktaraf dan d) Tahap ketahanan selepas penaiktarafan

Fungsi keahlian segitiga yang ditunjukkan dalam Rajah 3 tersebut mewakili tahap set kabur bagi setiap input dan output yang pada asalnya adalah dalam bentuk nilai

tunggal (*crisp value*) dan kemudian diterjemahkan kepada tahap keahlian kabur dengan interval dari 0 hingga 1 berdasarkan pembolehubah linguistik yang ditetapkan.

Kelebihan menggunakan nombor keahlian fungsi ini berbanding nombor bulat adalah setiap penilaian yang dibuat adalah mengikut darjah keahlian setiap tahap yang ditetapkan bagi setiap input dan output. Oleh itu, ianya akan memberikan penilaian dengan lebih tepat yang dapat mempertimbangkan ketidakpastian sewaktu membuat keputusan.

PEMBANGUNAN PERATURAN KABUR “JIKA” - “MAKA”

Peraturan kabur “JIKA” - “MAKA” dibangunkan berdasarkan keadaan atau situasi permasalahan yang ingin diselesaikan. Secara ideal, jumlah gabungan peraturan kabur adalah mengikut jumlah gandaan ekspresi pembolehubah linguistik bagi setiap input dan output yang terlibat. Sebagai contoh, bagi kes kajian ini, nilai peraturan

yang berpotensi untuk dibangunkan adalah $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 243$ peraturan (Arslankaya, 2023). Walau bagaimanapun, tidak kesemua peraturan ini sesuai untuk digunakan bagi aplikasi peningkat prestasi angkup brek ini, terutamanya bagi ekspresi yang bertentangan antara satu sama lain. Contohnya, bagi input “Tahap prestasi yang dinaiktaraf” pada tahap yang tinggi memerlukan “Kos” yang tinggi dan oleh itu, peraturan melibatkan “Kos” yang rendah boleh dikeluarkan daripada senarai peraturan.

Oleh itu, berdasarkan kajian oleh pengkaji dalam Aziz et al. (2021), terdapat enam peraturan kabur utama yang dapat digunakan bagi keseluruhan keadaan input dan output serta disesuaikan dengan ekspresi pembolehubah linguistik yang dibangunkan. Selain itu, nilai pemberat bagi setiap peraturan boleh ditetapkan dan nilai “1” menunjukkan semua peraturan mempunyai implikasi yang sama penting. Rajah 4 menunjukkan enam peraturan kabur tersebut yang ditambah dalam editor peraturan FIS tersebut berdasarkan senarai peraturan seperti dalam Rajah 1.

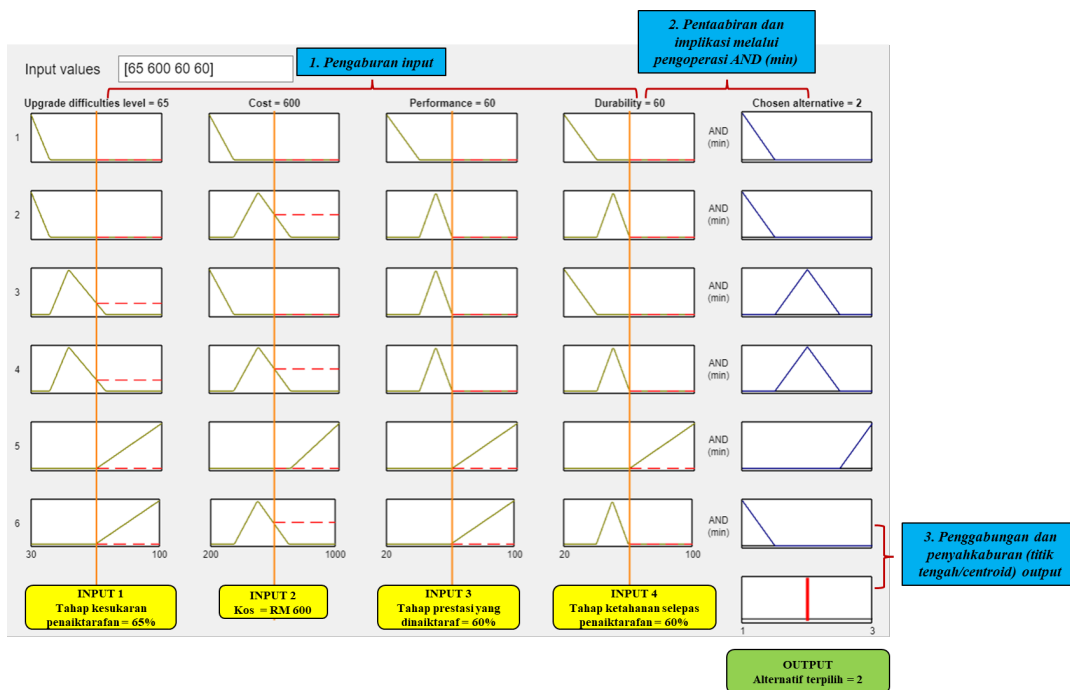
Add All Possible Rules		Clear All Rules	
	Rule	Weight	Name
1	If Upgrade difficulties level is Easy and Cost is Inexpensive and Performance is Low and Durability is...	1	rule1
2	If Upgrade difficulties level is Easy and Cost is Affordable and Performance is Average and Durability...	1	rule2
3	If Upgrade difficulties level is Moderate and Cost is Inexpensive and Performance is Average and Du...	1	rule3
4	If Upgrade difficulties level is Moderate and Cost is Affordable and Performance is Average and Dura...	1	rule4
5	If Upgrade difficulties level is Complex and Cost is Expensive and Performance is High and Durabilit...	1	rule5
6	If Upgrade difficulties level is Complex and Cost is Affordable and Performance is High and Durabilit...	1	rule6

RAJAH 4. Penetapan set peraturan kabur di dalam *Fuzzy Inference System* (FIS) pada bahagian editor peraturan

PROSES PENTAABIRAN KABUR, PENGGABUNGAN DAN PENYAHKABURAN

Melalui pembangunan peraturan kabur dalam Rajah 4, proses pentaabiran merupakan elemen utama kajian ini dimana input yang dipertimbangkan akan dipetakan kepada output menggunakan logik kabur bagi membantu proses

membuat keputusan. Proses pentaabiran kabur ini juga melibatkan fungsi keahlian, operasi logik dan peraturan JIKA-MAKA yang telah dibincangkan dalam bahagian sebelum ini. Rajah 5 menunjukkan gambarajah pentaabiran kabur keseluruhan bagi kajian ini yang menunjukkan keseluruhan proses pembangunan model logik kabur.



RAJAH 5. Pentaabiran kabur keseluruhan kajian bermula daripada pengaburan pembolehubah linguistik sehingga penyahkaburan output yang digabungkan

Merujuk kepada Rajah 5, proses penggabungan seterusnya menggabungkan kesemua set kabur yang juga merupakan output bagi setiap peraturan kabur untuk dijadikan sebagai set kabur tunggal. Penggabungan ini penting bagi membantu proses membuat keputusan yang dilaksanakan melalui penilaian terhadap kesemua peraturan yang terlibat dalam sistem pentaabiran kabur.

Berdasarkan Rajah 5, kesemua peraturan 1 hingga 6 digabungkan menjadi satu set kabur melalui kemasukan nilai input 65% bagi tahap kesukaran penaiktarafan, RM600 kos untuk penaiktarafan, 60% prestasi yang dinaiktaraf dan 60% ketahanan komponen yang dinaiktaraf. Set kabur yang diperolehi daripada penggabungan akan dinyahkabur untuk mendapatkan nilai tunggal dan menunjukkan Peraturan 4 memberikan pengaruh paling tinggi terhadap output yang memberikan Alternatif 2 sebagai alternatif pilihan.

Nilai input yang dimasukkan dan dikaburkan melalui model logik kabur ini adalah bergantung kepada data oleh pengguna yang ingin mendapatkan cadangan alternatif yang bersesuaian untuk tujuan penaiktarafan prestasi komponen angkup brek. Penentuan nilai input dan output ini seterusnya akan digunakan untuk penentuan kedudukan alternatif mengikut keutamaan untuk membantu proses membuat keputusan untuk memilih alternatif yang paling sesuai bagi penaiktarafan prestasi angkup brek terpakai. Perbandingan antara model logik kabur akan dibincangkan dengan lebih lanjut bagi pengesahan keseluruhan dapatan dalam sub-bahagian seterusnya.

PENGESAHAN DAPATAN: PERBANDINGAN KEDUDUKAN ALTERNATIF ANTARA MODEL LOGIK KABUR DAN KAEDAH FAHP

Pembangunan model logik kabur ini menekankan keterlibatan kriteria kos sebagai salah satu input untuk pemilihan alternatif penaiktarafan yang terbaik dan paling sesuai berdasarkan nilai input atau nilai kadaran yang diberikan. Manakala, kaedah FAHP yang digunakan oleh pengkaji dalam kajian sebelum ini tidak menekankan kriteria kos sewaktu penilaian kerana sesuai untuk dilaksanakan melalui perbandingan antara pasangan. Jadi, penambahbaikan melalui pembangunan model logik kabur adalah penting bagi memastikan kriteria kos dapat dipertimbangkan dalam pemilihan alternatif tersebut. Jadual 3 menunjukkan nilai skor keseluruhan bagi setiap alternatif menggunakan kaedah purata wajaran dengan menggunakan nilai input/kadaran yang dimasukkan dalam model logik kabur. Skor bagi setiap alternatif mengikut input dikira seperti persamaan (2) sebagai contoh bagi Input 1, Alternatif 1 dengan nilai input 30%:

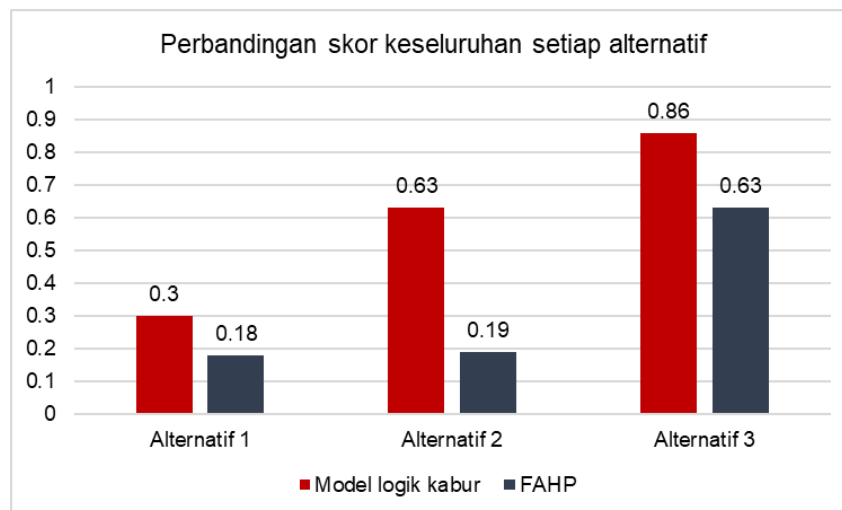
$$\text{Skor Alternatif 1: } \frac{30}{100} \times 0.275 = 0.083 \quad (2)$$

JADUAL 3. Nilai skor keseluruhan bagi setiap alternatif menggunakan kaedah purata wajaran

Input	Julat	Pemberat	Alternatif 1		Alternatif 2		Alternatif 3	
			Nilai Kadaran Alternatif 1	Skor Alternatif 1	Nilai Kadaran Alternatif 2	Skor Alternatif 2	Nilai Kadaran Alternatif 3	Skor Alternatif 3
1. Tahap kesukaran penaiktarafan (%)	30-100%	0.275	30%	0.083	65%	0.18	80%	0.28
2. Kos (RM)	RM 200 -RM 1000	0.275	RM 250	0.07	RM 600	0.17	RM 850	0.24
3. Tahap prestasi yang dinaiktaraf (%)	20-100%	0.225	30%	0.068	60%	0.14	80%	0.18
4. Tahap ketahanan selepas penaiktarafan (%)	20-100%	0.225	35%	0.08	60%	0.14	70%	0.16
Jumlah skor keseluruhan				0.30		0.63		0.86
Kedudukan alternatif				3/3		2/3		1/3

Berdasarkan Jadual 3 tersebut, kedudukan alternatif yang diperoleh berdasarkan nilai input/kadaran semasa yang dimasukkan dalam model logik kabur menunjukkan Alternatif 3 pada kedudukan pertama, diikuti Alternatif 2

dan yang terakhir adalah Alternatif 1. Ianya juga selari dengan hasil dapatan yang diperoleh melalui kaedah FAHP dengan kedudukan alternatif yang sama seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6 dibawah.



RAJAH 6. Perbandingan skor dan kedudukan setiap alternatif

Berdasarkan Rajah 6 tersebut, dapat dilihat kedudukan alternatif yang sama diperoleh bagi kedua-dua kaedah logik kabur dan FAHP. Namun begitu, nilai kadaran yang boleh dimasukkan dalam model logik kabur adalah lebih mudah untuk pertimbangan selanjutnya dengan mengambil kira julat setiap input yang telah ditetapkan. Ini kerana, setiap

input dan output telah ditentukan set kabur dan peraturan kabur yang akan melalui pentaabiran dan seterusnya akan, menentukan nilai output yang merujuk kepada alternatif yang pilih.

Walaupun teknik FAHP secara asasnya turut mengaplikasikan nombor kabur didalam penilaiannya,

namun nombor kabur tersebut hanyalah digunakan bagi tujuan penilaian pemberat sahaja dan elemen AHP adalah lebih menyumbang kepada proses membuat keputusan bagi kaedah FAHP tersebut. Namun begitu, kedua-dua kaedah mempunyai kepentingan tersendiri yang diperlukan dalam proses membuat keputusan, Oleh itu, secara keseluruhannya, model logik kabur yang telah dibangunkan dalam kajian ini dapat membantu proses membuat keputusan yang lebih tepat dan lebih mudah melalui pertimbangan pembolehubah linguistik yang bersifat kabur dan kualitatif terutamanya apabila melibatkan elemen kos.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, kajian ini telah membincangkan dengan terperinci berkenaan pembangunan dan aplikasi model logik kabur dalam pelaksanaan peningkatarafan prestasi bagi komponen angkup brek dalam proses pembuatan semula. Pembangunan model logik kabur ini bertujuan untuk menyokong model pembuat keputusan FAHP yang telah dibangunkan oleh pengkaji sebelum ini bagi membuat penilaian kualitatif dalam memilih alternatif peningkatarafan prestasi yang bersesuaian. Pengesahan hasil dapatan turut dibincangkan dengan perbandingan kedudukan alternatif yang terlibat antara model logik kabur dan kaedah FAHP.

Dari aspek penambahbaikan kajian, kajian ini berpotensi untuk ditambahbaik dengan mempertimbangkan pembangunan modul antara muka pengguna untuk lebih mudah digunakan oleh para pengguna atau pemain industri yang ingin mendapatkan maklumat serta pengetahuan berkenaan pelaksanaan peningkatarafan prestasi melibatkan komponen terpakai dalam pembuatan semula. Oleh itu, kajian ini telah membangunkan sistem pakar melalui pembangunan model logik kabur bagi membantu proses membuat keputusan melibatkan pemilihan alternatif peningkatarafan prestasi.

PENGHARGAAN

Penyelidikan ini adalah dibawah tajaan Pusat Pengurusan Penyelidikan dan Instrumentasi (CRIM), Universiti Kebangsaan Malaysia, nombor geran GGPM-2023-059 dan Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Arslankaya, S. 2023. Comparison of performances of fuzzy logic and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for estimating employee labor loss. *Journal of Engineering Research* 11: 470-478
- Aziz, N.A., Wahab, D.A., & Ramli, R. 2021. Kelestarian Hayat Komponen Automotif: Strategi Peningkatarafan. Penerbit UKM.
- Belbağ, A.G., & Belbağ, S., 2023. Remanufactured products: A systematic review from the consumer perspective. *Journal of Remanufacturing* 13: 207-241.
- Chen, Y., Wang, J., & Yu, Y. 2019. A study on consumer's willingness to pay for remanufactured products: A study based on hierarchical regression method. *Frontiers in Psychology* 10: 2044.
- Chong, J.Y., Saman, M.Z.M., & Ngadiman, N.H.A. 2023. End-of-life vehicles research development in Malaysia: A comprehensive review with the integrated conceptual model of innovative sustainable manufacturing elements. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 25: 698-716.
- Hiyam Adil Habeeb., Dzuraidah Abd Wahab., Abdul Hadi Azman., & Mohd Rizal Alkahari. 2023. Fuzzy-Genetic based Approach in Decision Making for Repair of Turbochargers using Additive Manufacturing. *Jurnal Kejuruteraan* 35 (5): 1153-1164.
- Ijomah, W.L. 2009. Addressing decision making for remanufacturing operations and design-for-remanufacture. *International Journal of Sustainable Engineering* 2 (2): 91-102.
- Kafuku, J.M., Saman, M.Z.M., & Yusof, S.M. 2019. Application of fuzzy logic in selection of remanufacturing technology. *Procedia Manufacturing* 33: 192-199.
- Li, B., Wang, Z., Wang, Y., Tang, J., Zhu, X., & Liu, Z. 2018. The effect of introducing upgraded remanufacturing strategy on OEM's decision. *Sustainability* 10, 828: 1-21.

- Wang, Y., Hazen, B.T., & Mollenkopf, D.A. 2018. Consumer value considerations and adoption of remanufactured products in closed-loop supply chains. *Industrial Managements & Data Systems*. 118 (2): 480-498.
- Wang, Y., & Hazen, B.T. 2016. Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products. *International Journal of Production Economics* 181, 460-469.
- Wang, Y., & Hazen, B.T. 2016. Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products. *International Journal of Production Economics* 181, 460-469.
- Wu, B., Jiang, Z., Zhu, S., Zhang, H., & Wang, Y. 2023. A customized design method for upgrade remanufacturing of used products driven by individual demands and failure characteristics. *Journal of Manufacturing Systems* 68: 258-269.