Jurnal Kejuruteraan 38(7) 2026: 3627-3637
https://doi.org/10.17576/jkukm-2026-38(7)-35

Penilaian Kriteria Laluan Mikromobiliti Menggunakan Proses Hierarki Analitik (AHP)

(Evaluation of Micromobility Route Criteria Using the Analytic Hierarchy Process (AHP))

Syahmi Razi Razali[a], Muhamad Razuhanafi Mat Yazid[a*], Khairul Nizam Abdul Maulud[a], Kamarudin Ambak[b] & Mukhlis Nahriri Bastam[c]

[a]*Jabatan Kejuruteraan Awam & Struktur, Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia,*

[b]*Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan Awam dan Alam Bina, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia,*

[c]*Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri*

[*]*Corresponding author: razuhanafi@ukm.edu.my*

Received 16 February 2026, Received in revised form 14 June 2026
Accepted 14 July 2026, Available online 30 October 2026

ABSTRACT

The increasing use of micromobility vehicles as an alternative transportation mode in urban areas necessitates serious attention toward infrastructure safety. However, the route development process is often hindered by the absence of a systematic approach to evaluating critical design criteria. This study aims to identify and prioritize micromobility route design criteria to provide a robust planning foundation. The research methodology employs the Analytic Hierarchy Process (AHP) via the BPMSG Excel Template to analyze expert judgments through pairwise comparisons. Four primary criteria were evaluated: infrastructure quality, user safety, local policy compliance, and accessibility. The analysis results indicate that accessibility is the most influential criterion, recording the highest priority weight of 26.51%, particularly concerning connectivity to public transportation. Although a level of inconsistency was observed within the accessibility criterion (CR > 0.10) reflecting varying expert perspectives between public pathway access and modal connectivity the overall findings provide a significant and valid overview of priorities. The contribution of this study offers a validated decision-support tool for urban planners and campus managers to develop safe, sustainable, and regulation-compliant micromobility path, thereby supporting modern urban transportation goals.

Keywords: Micromobility route; micromobility criteria; criteria mapping; analytic hierarchy process; AHP

ABSTRAK

Peningkatan penggunaan kenderaan mikromobiliti sebagai mod pengangkutan alternatif di kawasan bandar menuntut perhatian serius terhadap aspek keselamatan infrastruktur. Walau bagaimanapun, proses pembangunan laluan sering terbatas oleh ketiadaan pendekatan sistematik dalam menilai kriteria reka bentuk yang kritikal. Kajian ini bertujuan untuk mengenal pasti dan menentukan keutamaan kriteria reka bentuk laluan mikromobiliti bagi menyediakan asas perancangan yang lebih kukuh. Metodologi kajian melibatkan penggunaan kaedah Proses Analitikal Hierarki (AHP) melalui Templat Excel BPMSG untuk menganalisis penilaian pakar secara perbandingan berpasangan. Empat kriteria utama dinilai, iaitu kualiti infrastruktur, keselamatan pengguna, pematuhan peraturan tempatan, dan kemudahan akses. Hasil analisis menunjukkan bahawa kemudahan akses merupakan kriteria paling berpengaruh dengan nilai pemberatan tertinggi iaitu 26.51%, terutamanya melibatkan aspek ketersambungan dengan pengangkutan awam. Meskipun terdapat ketidakkonsistenan pada kriteria akses (CR > 0.10) yang mencerminkan perbezaan perspektif pakar antara akses laluan awam dan ketersambungan mod, hasil keseluruhan tetap memberikan gambaran keutamaan yang signifikan. Sumbangan kajian ini menawarkan alat sokongan keputusan yang sah bagi perancang bandar dan pengurus kampus untuk membangunkan laluan mikromobiliti yang selamat, mampan, dan patuh peraturan, sekali gus menyokong matlamat pengangkutan bandar moden.

Keywords: Laluan mikromobiliti; kriteria mikromobiliti; pemetaan kriteria; proses hierarki analitik; AHP

PENGENALAN

Peningkatan penggunaan bagi kenderaan mod mikromobiliti semakin menjadi pilihan sebagai pengangkutan alternatif di kawasan bandar. Merujuk Akta Pengangkutan Jalan Raya 1987 dibawah Akta 333, definisi kenderaan mikromobiliti ialah sebarang kenderaan yang digerakkan sama ada oleh kuasa elektrik, enjin pembakaran dalam atau tenaga manusia, dan mempunyai had laju maksimum 50km/j. Peningkatan penggunaannya memerlukan tumpuan terhadap keselamatan mikromobiliti yang berfokuskan pelbagai sudut antaranya infrastruktur, keadaan permukaan jalan, aliran trafik dan keadaan operasi.

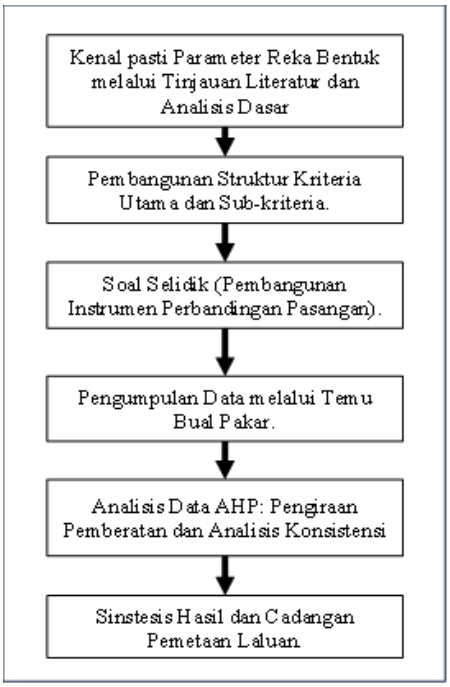
Dari perspektif geometri jalan, kajian menunjukkan lorong yang sempit meningkatkan risiko berlaku perlanggaran bahu jalan, pengguna lain serta konflik antara kenderaan bermotor (Greibe & Buch 2016; Park & Abdel-Aty 2016). Apabila mereka bentuk laluan mikromobiliti, kestabilan dan jarak pusingan adalah antara kriteria yang perlu dipertimbangkan. Tambahan pula, kepentingan persekitaran sekitar dalam memastikan keselamatan pengguna ditekankan dalam merancang laluan khusus bagi kenderaan mikrombiliti (Ma et al. 2021).

Antara kekangan utama untuk menghasilkan pemetaan untuk laluan mikromobiliti, ketiadaan pendekatan sistematik dalam mengenal pasti keutamaan kriteria untuk laluan mikromobiliti. Proses Hierarki Analitik (AHP) adalah salah satu kaedah kuantitatif untuk mendapatkan keutamaan relatif antara kriteria utama bagi pembinaan laluan mikromobiliti. Hasil akhir kajian ini diharap dapat menyokong perancangan cadangan laluan mikromobiliti di semua bandaraya sebagai alternatif pengangkutan lestari yang selaras dengan Pelan Pembangunan Mobiliti Rendah Karbon 2021-2030 dan Pelan Keselamatan Jalan Raya Malaysia 2022-2030.

Oleh itu, kajian ini dijalankan dengan matlamat utama untuk membangunkan satu pendekatan sistematik dalam menentukan pengutamaan kriteria bagi pemetaan laluan mikromobiliti. Bagi mencapai matlamat tersebut, objektif khusus kajian ini adalah untuk mengenal pasti kriteria dan sub-kriteria kritikal yang mempengaruhi perancangan laluan melalui tinjauan literatur dan analisis dasar, seterusnya menilai serta menentukan wajaran kepentingan relatif bagi setiap kriteria tersebut dengan menggunakan kaedah Proses Hierarki Analitik (AHP) berdasarkan input daripada panel pakar silang disiplin, dan akhirnya merumuskan satu kerangka keutamaan yang boleh dijadikan panduan praktikal oleh pihak berkuasa tempatan dalam merancang serta memeta infrastruktur laluan mikromobiliti yang selamat dan mampan.

METODOLOGI KAJIAN

Rajah 1 memaparkan kerangka metodologi yang disusun secara sistematik bagi menjelaskan fasa pembangunan kriteria pemetaan laluan mikromobiliti, bermula daripada penetapan parameter awal sehingga proses pengiraan pemberatan menggunakan kaedah AHP.



RAJAH 1. Carta alir Prodesur Pengutamaan Kriteria Laluan melalui pendekatan AHP

MODEL PROSES ANALITIKAL HIERARKI (AHP)

Proses Analitikal Hierarki ataupun *Analytical Hierarchy Process* (AHP) merupakan pendekatan dan kaedah dalam menentukan keputusan berdasarkan kriteria yang banyak dimana proses pengiraan menggunakan skala perbandingan antara dua kriteria. Kaedah ini menyediakan kerangka kerja yang komprehensif dan rasional untuk menghubungkan elemen tersebut dengan objektif yang menyeluruh. Menurut Konidari & Mavrakis (2007), antara kelemahan AHP adalah ketergantungan antara kriteria dimana risiko ketidak konsisten dalam penilaian dan ketidak mampuan menilai sesuatu alternatif secara terasing tanpa perbandingan. Walau bagaimanapun, AHP banyak digunakan dalam pengurusan prestasi, sumber, dasar korporat dan perancangan strategik, terutamanya kepada alternatif tetap dan kurang sesuai untuk masalah yang melibatkan penambahan alternatif secara kerap (Velasquez & Hester et al. 2013). Meskipun terdapat beberapa kelemahan metodologi, AHP tetap menjadi alat yang

berharga dalam pengambilan keputusan kompleks yang mempunyai kerangka yang sistematik dan kemampuan untuk integrasikan pertimbangan kualitatif-kuantitatif secara berstruktur. Jadual 1 menunjukkan satu skala nisbah yang digunakan dalam kaedah AHP dimana matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*) dibina menggunakan skala 1 – 9.

JADUAL 1. Skala nisbah keutamaan untuk AHP (Saaty (1994)

Nilai	Keterangan	
1	Kedua-dua elemen A dan B mempunyai kesan yang sama.	(Less/Kurang)
3	Elemen A sedikit lebih penting daripada B.	(Moderate / Sederhana)
5	Elemen A jelas lebih penting daripada B.	(Strong / Kuat)
7	Elemen A sangat lebih penting daripada elemen B.	(Very Strong / Sangat Kuat)
9	Elemen A teramat sangat lebih penting daripada B.	(Extreme / Paling Kuat)
2, 4, 6, 8	Nilai tengah antara dua nilai keputusan yang berdekatan	(Equal / Sama)

PROSES PENGHASILAN SOAL SELIDIK DAN PENILAIAN INSTRUMEN

Penghasilan soal selidik secara berstruktur kepada pakar pengangkutan dan perancang bandar dihasilkan mengikut kriteria dan sub kriteria yang diperoleh daripada data sekunder dan semakan dibuat oleh dua orang pakar pengangkutan dan seorang pakar bahasa seperti dalam Jadual 2. Tiada syarat yang mengatakan model AHP memerlukan jumlah responden tertentu, satu orang sahaja boleh dianggap mencukupi jika memenuhi kriteria sebagai pakar (Saaty 2016). Hal ini kerana, penentuan kriteria 'Pakar' adalah kritikal kerana kualiti output AHP bergantung sepenuhnya kepada individu tersebut. Seseorang dianggap pakar apabila mempunyai tahun pengalaman dalam sesuatu bidang, termasuk tempoh kerjaya dan pendedahan praktikal, merupakan ukuran pertama (Rassafiani et al. 2009; Sahin & Yazır 2018).

Penilaian instrumen ini penting dalam menentukan keberkesanan hasil merangkumi struktur soalan, skala kriteria dan penyusunan aturan soal selidik yang mungkin mempengaruhi kualiti data. Skala bagi penilaian kejelasan panduan dan penjelasan soal selidik merangkumi skala 1 (sangat tidak jelas) hingga 5 (sangat jelas). Berdasarkan nilai purata penilaian kejelasan iaitu 3.6 menunjukkan kesukaran keseluruhan yang sederhana dan penambahbaikan dilakukan berdasarkan ulasan yang diberikan oleh pakar.

JADUAL 2. Senarai pakar bagi penilaian instrumen

Bil	Pakar	Tahun pengalaman	Institusi	Pernilaian Kejelasan	Kesukaran keseluruhan
1	Jurutera Awam Kanan Jalan	10 Tahun	Jabatan Kerja Raya (JKR)	4.2	Sederhana
2	Pensyarah Kanan, Fakulti Kejuruteraan Awam	17 Tahun	Universiti Awam	2.8	Sukar
3	Pensyarah Universiti, Pusat Kajian Bahasa & Linguistik (PBL)	30 Tahun	Universiti Awam	3.8	Sederhana

PANDANGAN PAKAR DALAM SOAL SELIDIK

Soal selidik utama dalam kajian ini dirancang untuk diedarkan kepada lapan (8) pakar seperti dalam Jadual 3 bagi mendapatkan pandangan pakar secara temu bual untuk kriteria-kriteria yang mempengaruhi cadangan laluan mikromobiliti. Jumlah wajaran ralat yang terkecil dicapai apabila saiz sampel melibatkan 6 hingga 8 orang pakar dan dianggap memadai apabila penilaian konsistensi boleh dinilai apabila bilangan pakar adalah sekurang-kurangnya 7 orang pakar (Mohr et al. 2022; Saaty & Özdemir 2014). Pemilihan 8 pakar daripada sektor Kerajaan, Akademik, dan Industri memastikan bahawa penilaian kriteria dilakukan secara menyeluruh, mengambungkan pandangan dasar, teori saintifik, dan realiti praktikal untuk menghasilkan keputusan yang lebih berinformasi dan berkesan. Perbezaan perspekif ini wujud akibat perbezaan matlamat sektor: kerajaan mengutamakan akauntabiliti, akademik menekankan ketelitian teori, manakala industri mementingkan praktikaliti (Hanberger & Schild 2004; Heidrick et al. 2005; Tagle & Celano 2018). Justeru,

integrasi melalui pendekatan pelbagai pihak mampu meningkatkan keberkesanan dalam penilaian polisi.

Kajian ini melibatkan pakar yang mempunyai pengalaman antara 12 hingga 30 tahun dalam industri bagi memberikan pandangan terhadap tahap kepentingan kriteria yang disenaraikan. Setiap responden mempunyai pemahaman mendalam mengenai ekosistem mikromobiliti. Bagi memenuhi keperluan kualitatif AHP, pemilihan pakar berasaskan tahap senioriti dan kepakaran silang disiplin yang luas. Kematangan profesional mereka menjamin bahawa input yang diberikan bukan sekadar bersifat teoritikal, malah berpaksikan realiti industri dan teknikal yang mendalam (Çiçekli et al. 2025; Mediouni & Cheikhrouhou 2019)

JADUAL 3. Maklumat Pakar Penilai

Senarai Pakar	Latar Belakang / Sektor	Pengalaman	Bidang kepakaran
Pakar 1	Industri (Perunding)	30 Tahun	Perancangan pengangkutan strategik dan pemodelan sistem mobiliti industri.
Pakar 2	Industri (Infrastruktur)	20 Tahun	Penyelenggaraan infrastruktur dan pengurusan keselamatan aset pengangkutan.
Pakar 3	Agensi Pembangunan	24 Tahun	Inovasi perbandaran mampan dan pembangunan komuniti bandar pintar.
Pakar 4	Perancang Bandar (Agensi Pusat)	16 Tahun	Penggubalan polisi perancangan bandar dan desa di peringkat kebangsaan.
Pakar 5	Pihak Berkuasa Tempatan (Teknikal)	17 Tahun	Implementasi teknikal dan pengurusan infrastruktur jalan raya di peringkat daerah.
Pakar 6	Ahli Akademik	12 Tahun	Penyelidikan akademik dalam bidang kejuruteraan pengangkutan dan trafik.
Pakar 7	Ahli Akademik	15 Tahun	Kepakaran dalam Analisis Sistem Maklumat Geografi (GIS) untuk perancangan spatial.
Pakar 8	Pegawai Penyelidik	18 Tahun	Pakar keselamatan jalan raya dan analisis impak teknikal mikromobiliti.

SENARAI KRITERIA

Hasil dapatan kajian dirumuskan daripada kajian literatur, kriteria-kriteria utama dan kriteria kecil untuk cadangan laluan mikromobiliti merujuk semua garis panduan yang berkaitan dirumuskan seperti Jadual 4

Berdasarkan kajian sebelum ini, kriteria utama dikenal pasti terbahagi kepada 4 aspek iaitu ciri keselamatan pengguna, keadaan infrastruktur, pematuhan terhadap peraturan tempatan dan tahap kemudahan akses kepada pengguna mikromobiliti.

JADUAL 4. Kriteria utama dan sub kriteria potensi laluan untuk kenderaan mikromobiliti berdasarkan kajian literatur

Kriteria Utama	Sub Kriteria	Penerangan
Keselamatan	Lorong basikal	Laluan yang mempunyai lorong basikal khas untuk mengelakkan konflik dengan kenderaan bermotor.
	Titik panas kemalangan	Kenal pasti dan elakkan kawasan yang mempunyai rekod kemalangan yang tinggi.
	Zon pejalan kaki	Elakkan laluan yang melalui kawasan pejalan kaki yang sesak kecuali dibenarkan.
	Persimpangan jalan	Kenal pasti persimpangan yang berisiko tinggi dan cari alternatif yang lebih selamat.
	Peningkatan keterlihatan	Laluan mempunyai pencahayaan yang mencukupi dan penghapusan halangan visual seperti papan iklan, pokok atau struktur yang menghalang pandangan pengguna.
Infrastruktur	Permukaan jalan	Pilih laluan dengan permukaan jalan yang licin, bebas dari lubang, retak, atau halangan.
	Pemisah fizikal	Jika menggunakan laluan berkongsi, pastikan ia dilengkapi dengan curb, kon, pagar, dan tanda garis.
	Tempat letak kenderaan	Pastikan laluan berdekatan dengan tempat letak kenderaan atau stesen dok yang ditetapkan.
	Keadaan topografi	Elakkan laluan dengan bukit yang terlalu curam atau medan yang mencabar.

bersambung...

...sambungan

	Lebar jalan	Keluasan lebar jalan sedia ada, pastikan kelebaran jalan mengikuti ketetapan yang ditetapkan.
Peraturan Tempatan	Undang-undang	Pastikan laluan mematuhi undang-undang tempatan seperti larangan menggunakan trotoar atau kawasan tertentu.
	Had Laju	Pilih laluan yang mematuhi had laju yang ditetapkan untuk kenderaan mikromobiliti.
	Kawasan yang dibenarkan	Pastikan laluan melalui kawasan yang membenarkan penggunaan kenderaan mikromobiliti.
	Peraturan tempat letak kenderaan	Pastikan laluan berakhir di kawasan yang membenarkan tempat letak kenderaan mikromobiliti.
Kemudahan Akses	Sambungan ke pengangkutan awam	Pilih laluan yang berdekatan dengan stesen bas, LRT, atau pengangkutan awam lain.
	Aksesibiliti untuk semua pengguna	Pastikan laluan boleh diakses oleh semua pengguna, termasuk mereka yang kurang upaya.
	Zon pengecasan	Pilih laluan yang berdekatan dengan titik pengecasan untuk kenderaan elektrik.

FORMULA DAN PROSEDUR PENGIRAAN

Dalam pengiraan AHP secara asasnya, matriks perbandingan pasangan A berbentuk seperti persamaan (1).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \ldots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dimana nilai a_{ij} mewakili kepentingan elemen i berbanding j secara berpasangan, dengan sifat resiprokal seperti dinyatakan dalam persamaan (2).

$$a_{ij} > 0\,;\; a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}\,, a_{ij} = 1 \quad (2)$$

Bagi menentukan kepentingan relatif setiap kriteria, vektor eigen dikira menggunakan Persamaan (3), dimana A mewakili matriks perbandingan dan λmax ialah nilai eigen terbesar. Seterusnya, bagi menggabungkan penilaian daripada 8 pakar yang berbeza, kaedah *Aggregation Individual Priorities (AIP)* diaplikasikan melalui Persamaan (4) untuk mencapai konsensus dalam keputusan (Ossadnik et al. 2016).

$$A\omega = \lambda_{max}\,.\,\omega \quad (3)$$

$$W_{konsensus} = \frac{W_{Pakar1} + W_{Pakar2} + \cdots + W_{PakarN}}{N} \quad (4)$$

ANALISIS KEPUTUSAN PROSES ANALITIKAL HIERARKI

Nisbah Konsistensi (CR) dikira untuk menilai tahap ketekalan dalam penilaian berpasangan. Tahap konsistensi penilaian pakar diukur menggunakan Indeks Konsistensi (CI) melalui persamaan (5), yang kemudiannya dibandingkan dengan Indeks Rawak (RI) untuk memperoleh Nisbah Konsistensi (CR) seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (6). Secara praktis, nilai CR ≤ 0.10 (10%) menunjukkan penilaian yang konsisten dan boleh diterima. Keputusan nilai CR > 0.10 boleh diterima sebagai titik permulaan untuk perbincangan dan penjelasan lanjut, yang membawa pemahaman kolektif yang lebih mendalam tentang kriteria dinilai. Oleh itu, CI dan CR digunakan untuk mengukur tahap logik dan konsistensi manusia dalam membuat penilaian berpasangan (Saaty & Vargas 2012; Saaty 1977).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Indeks Jaminan Geometri (GCI) seperti yang dirumuskan dalam persamaan (7) dibangunkan sebagai ukuran alternatif kepada CR bagi menilai konsistensi geometri dalam matrik AHP, yang tidak bergantung kepada indeks rawak, RI (Aguarón & Moreno-Jiménez, 2003). Nilai GCI = 0 menunjukkan sangat konsisten manakala GCI > 0.3 tahap konsistensi mula lemah. Indeks Kestabilan Keutamaan (PSI) diwakili oleh persamaan (8) berfungsi untuk mengukur kestabilan susunan keutamaan berdasarkan perbandingan berpasangan dengan menilai sama ada

kedudukan sebenar berubah apabila terdapat sedikit tidak konsisten (Duszak & Koczkodaj, 1994). PSI mendekati nilai 0 menunjukkan kedudukan yang sangat konsisten dan jika nilai PSI lebih tinggi, semakin banyak percanggahan dalam kedudukan.

$$GCI = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=j}^{n-1} \sum_{i=j}^{n-1} (\ln(a_{ij} \cdot \frac{\omega_i}{\omega_j})^2 \quad (7)$$

$$PSI = 1 - \frac{\sum_{i<j} \min(a_{ij}, \frac{\omega_i}{\omega_j}) + \min(\frac{1}{a_{ij}}, \frac{\omega_i}{\omega_j})}{n(n-1)/2} \quad (8)$$

Min Ralat Relatif (MRE) digunakan untuk mengukur purata relatif antara nilai asal dalam matriks dan nisbah pemberatan sebenar (ωi/ωj) yang dapat dilihat dalam persamaan (9). Nilai MRE < 0.1 menunjukkan hasil yang selaras dan stabil (Alonso & Lamata 2006; Ishizaka & Labib 2011).

$$MRE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{\omega_i^{(estimated)} - \omega_i^{(ideal)}}{\omega_i^{(ideal)}} \right| \quad (9)$$

TEKNIK ANALISIS

Kajian ini menggunakan Templat Excel AHP BPMSG untuk menganalisa data melalui kaedah perbandingan berpasangan. Data soal selidik yang dikumpul dan diproses menggunakan templat AHP-Excel seperti ditunjukkan dalam Rajah 2. Maklumat yang diperoleh bagi setiap kriteria akan dimasukkan secara sistematik ke dalam perisian tersebut bagi menghasilkan keputusan akhir.

AHP Analytic Hierarchy Process n= 3 Input 1

Objective: 0

Only input data in the light green fields!

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, **A or B**, and **how much** more on a scale 1-9 as given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve consistency.

n	Criteria	Comment	RGMM	+/-
1	D1	Sambungan ke pengangkutan awam	42.7%	6.6%
2	D2	Aksesibiliti untuk semua pengguna	50.0%	7.8%
3	D3	Zon pengecasan	7.3%	1.1%
4				
5				
6				
7				
8				
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the		
10		question section ("+" in row 66)		

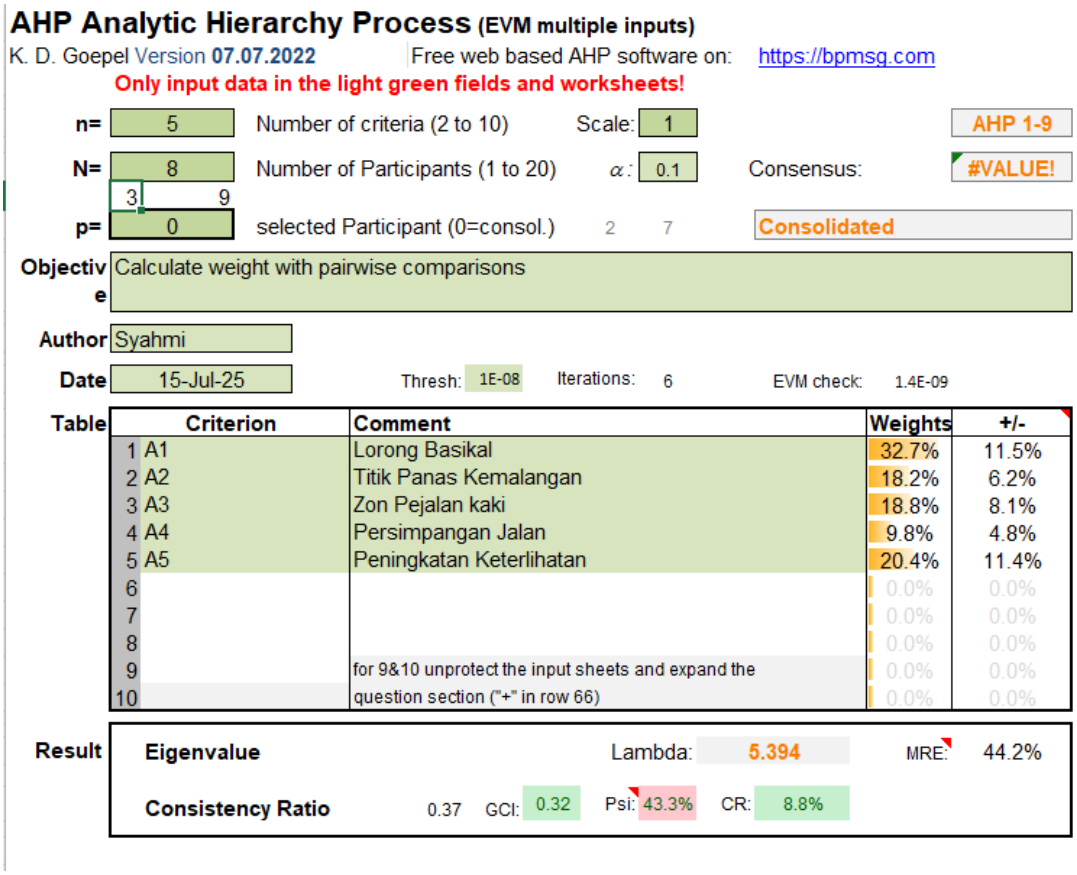
Dr Azfizan Aziz | 1 | | α: 0.1 | CR: 3%

Name | Weight | Date | Consistency Ratio

i	j	Criteria A	Criteria B	more important ? A or B	Scale (1-9)
1	2	D1	D2	A	1
1	3		D3	A	5
1	4				
1	5				
1	6				
1	7				
1	8				
2	3	D2	D3	A	8
2	4				
2	5				
2	6				
2	7				
2	8				

RAJAH 2. Sampel input dan output daripada pakar melalui soal selidik

Kajian ini menukarkan kriteria yang dinilai kepada cadangan reka bentuk praktikal untuk rangkaian laluan mikromobiliti yang selamat, mampan, dan patuh peraturan. Hasil ini merupakan alat sokongan keputusan yang sah bagi perancang bandar atau kampus. Rajah 3 menunjukkan pemberatan kriteria tersebut digunakan untuk merangka pelan awal rangkaian laluan dengan menggabungkan keutamaan alternatif bagi memperoleh skor keseluruhan.



AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)

K. D. Goepel Version 07.07.2022 | Free web based AHP software on: https://bpmsg.com

Only input data in the light green fields and worksheets!

n= 5 Number of criteria (2 to 10) Scale: 1 AHP 1-9

N= 8 Number of Participants (1 to 20) α: 0.1 Consensus: #VALUE!

3 9

p= 0 selected Participant (0=consol.) 2 7 Consolidated

Objective: Calculate weight with pairwise comparisons

Author: Syahmi

Date: 15-Jul-25 Thresh: 1E-08 Iterations: 6 EVM check: 1.4E-09

Table	Criterion	Comment	Weights	+/-
1	A1	Lorong Basikal	32.7%	11.5%
2	A2	Titik Panas Kemalangan	18.2%	6.2%
3	A3	Zon Pejalan kaki	18.8%	8.1%
4	A4	Persimpangan Jalan	9.8%	4.8%
5	A5	Peningkatan Keterlihatan	20.4%	11.4%
6			0.0%	0.0%
7			0.0%	0.0%
8			0.0%	0.0%
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the	0.0%	0.0%
10		question section ("+" in row 66)	0.0%	0.0%

Result: Eigenvalue Lambda: 5.394 MRE: 44.2%

Consistency Ratio 0.37 GCI: 0.32 Psi: 43.3% CR: 8.8%

RAJAH 3. Contoh keputusan akhir analisis perbandingan pasangan menggunakkan templat Excel AHP

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

ANALISIS KEUTAMAAN KRITERIA DAN SUB-KRITERIA

Berdasarkan dapatan daripada analisis, Hasil pengiraan utama menunjukkan bahawa setiap kriteria mempunyai kepentingan yang berbeza dalam proses pemetaan laluan mikromobiliti. Jadual 5 menunjukkan kedudukan yang ditentukan daripada perbandingan berpasangan melalui kaedah AIP dan AHP.

JADUAL 5. Kedudukan Kriteria Utama melalui kaedah AIP dalam AHP

Kriteria Utama	Pemberatan Kriteria utama (%)	Kedudukan Kriteria Utama	Sub Kriteria	Pemberatan Sub-Kriteria
Kemudahan Akses	26.51	1	Sambungan ke pengangkutan awam	54.0
			Aksesibiliti untuk semua pengguna	38.5
			Zon pengecasan	7.5

bersambung...

... sambungan

Infrastruktur	25.53	2	Pemisah fizikal	35.2
			Permukaan jalan	29.5
			Lebar Jalan	14.9
			Keadaan topografi	14.5
			Tempat letak kenderaan	5.9
Peraturan tempatan	23.99	3	Undang-undang	36.8
			Kawasan yang dibenarkan	33.4
			Had Laju	17.5
			Peraturan tempat letak kenderaan	12.3
Keselamatan	23.97	4	Lorong basikal	32.7
			Peningkatan keterlihatan	20.4
			Zon pejalan kaki	18.8
			Titik panas kemalangan	18.2
			Persimpangan jalan	9.8

Keputusan analisis menunjukkan bahawa keempat-empat kriteria yang dinilai mempunyai tahap kepentingan yang hampir sama. Kemudahan akses mencatatkan nilai keutamaan tertinggi dengan 26.51%, menandakan bahawa kemudahan akses khususnya sambungan ke pengangkutan awam (54.0%), membuktikan bahawa mikromobiliti dilihat sebagai pelengkap kepada sistem transit sedia ada (LRT/MRT/Bas). Pemetaan laluan tidak seharusnya dibina secara rawak, sebaliknya perlu ditumpukan pada radius 1-3 KM dari hab pengangkutan. Jika sambungan ini gagal diutamankan, keberkesanan mikromobiliti sebagai penyelesaian first and last mile tidak akan tercapai.

Kriteria infrastruktur (25.53%) yang menunjukkan bahawa pemisah fizikal (35.2%) dan keadaaan permukaan jalan (29.5%) merupakan faktor utama yang mempengaruhi kesesuaian laluan.

Hal ini menunjukkan bahawa penyediaan lorong kongsi tanpa perlindungan fizikal tidak lagi memadai. Pihak berkaitan perlu beralih kepada reka bentuk laluan beransingan bagi meminimumkan konflik antara kenderaan mikromobiliti dengan kenderaan berat. Penemuan Tian et al. (2022) konsisten dengan analisis ini, dimana pemerhatian mereka akan peningkatan risiko kemalangan bagi penunggang yang menggunakan jalan tidak berturap dan kaki lima, manakala lorong basikal digunakan atas faktor keselamatan yang tinggi. Kualiti turapan yang rendah bukan sahaja menjejaskan keselesaan tetapi meningkatkan risiko kecederaan serius bagi kenderaan beroda kecil.

Walaupun Peraturan Tempatan mencatatkan nilai 23.99%, undang-undang dan kawasan yang dibenarkan menunjukkan keperluan mendesak terhadap pewartaan zon mikromobiliti yang jelas. Peta zon disarankan dibina berdasarkan kajian ini untuk menetapkan kawasan geo-fencing bagi mengelakkan kekeliruan pengguna dan memastikan penguatkuasaan dapat dijalankan secara sistematik.

Kriteria Keselamatan (23.97%) mencadangkan lorong basikal (32.7%) dan peningkatan keterlihatan (20.4%) bahawa elemen pencahayaan dan papan tanda amaran perlu diintegrasikan dalam pemetaan laluan, terutamanya di titk panas kemalangan. Ini menunjukkan bahawa isu keselamatan dalam kontek mikromobiliti bukan sahaja tentang pemakaian topi keledar, tetapi tentang bagaimana laluan tersebut direka untuk 'memisahkan' risiko secara visual dan fizikal. Campisi et al. (2020) turut menyatakan peraturan di Itali menyokong penggunaan kenderaan mikromobiliti secara selamat dan teratur dengan memastikan kegunaan tersebut digunakan di kawasan yang dibernarkan.

Secara keseluruhan, hasil ini mencadangkan satu langkah kepada perancangan laluan yang bersifat reaktif kepda pendekatan proaktif berasaskan aksesibiliti. Keutamaan perlu diberikan kepada pembinaan laluan yang menghubungkan zon kediaman ke stesen transit (Kemudahan Akses) dengan perlindungan fizikal (Infrastruktur) serta sokongan undang-undang zon yang jelas (Peraturan).

PENILAIAN KONSISTENSI DAN KEBOLEHPERCAYAAN DATA

Jadual 6 menunjukkan keputusan penilaian konsistensi dan kebolehpercayaan keputusan. Reliabiliti keputusan, CR dimana aturan praktikal CR $\leq$ 0.10 biasanya boleh diterima manakala CR > 0.1 menunjukkan nilai yang tidak konsisten. Nilai GCI dan PSI memerlukan nilai yang kecil untuk susunan yang lebih stabil dan lebih konsisten. Tahap penerimaan GCI $\leq$ 0.37 menunjukkan nilai yang lebih konsisten dan nilai PSI tiada ketetapan namun nilai yang kecil semakin baik. Nilai MRE iaitu 0.25-0.49 menunjukkan ralat relatif yang tinggi dimana nilai MRE yang lebih kecil iaitu (<0.1-0.2) sahaja untuk menuntut ketepatan tinggi.

JADUAL 6. Nilai indeks penilaian konsistensi dan kebolehpercayaan keputusan

Kriteria Utama	Nilai Eigen	CR	GCI	PSI	MRE
Infrastruktur	5.513	0.11	0.41	0.33	0.49
Keselamatan	5.394	0.08	0.32	0.43	0.44
Peraturan tempatan	4.094	0.03	0.12	0.08	0.25
Kemudahan Akses	3.243	0.21	0.71	0.33	0.47

Peraturan tempatan menunjukkan tahap konsistensi yang tinggi, menandakan bahawa dasar dan peraturan berkaitan mikromobiliti adalah jelas serta mendapat kesepakatan dalam kalangan pakar. Aspek keselamatan para penunggang turut menjadi tumpuan utama yang mencerminkan keprihatinan pakar terhadap isu keselamatan pengguna di jalan raya.

Sementara itu, keadaan infrastruktur dikenal pasti sebagai faktor yang penting walaupun nilai konsistensi sedikit melebihi tahap penerimaannya dimana tahap tersebut masih diterima memandangkan melibatkan bilangan pakar yang ramai. Elemen infrastruktur berfungsi memberikan keselesaan untuk laluan mikromobiliti seperti pemisah fizikal, keadaan permukaan jalan dan lebar jalan yang menunjukkan nilai pemberatan yang tinggi sekali gus menegaskan kepentingan kualiti infrastruktur tersebut.

Walau bagaimanapun, kemudahan akses memperlihatkan tahap ketidak konsistenan yang tinggi dengan nilai CR melebihi had 0.1, berkemungkinan berpunca dari perbezaan pandangan antara pakar mengenai tahap keutamaan sambungan pengangkutan awam dan akses laluan awam. Berdasarkan analisis sokongan, nilai GCI (0.71), PSI (0.33) dan MRE (0.47) yang mencerminkan tahap variasi pertimbangan yang sederhana hingga tinggi dalam kalangan pakar dan mengesahkan bahawa ketidakselarasan yang ditunjukkan oleh (CR = 0.21) adalah signifikan. Keadaan ini menunjukkan bahawa terdapat beberapa kecenderungan persamaan dalam penilaian pakar. Oleh itu, keutamaan bagi kriteria ini tidak dianggap stabil dan perlu disokong dengan analisis tambahan seperti analisis sensitiviti bagi menilai keteguhan keputusan. Namun, kriteria kemudahan akses didapati sangat bergantung kepada persekitaran setempat, termasuk tahap pembangunan infrastruktur serta keutamaan pengguna yang menyumbang kepada ketidakselarasan dalam penilaian tersebut.

IMPLIKASI STRATEGIK DAN KERANGKA PELAKSANAAN LALUAN

Hasil kajian ini memberikan panduan berstruktur kepada Pihak Berkuasa dalam merancang infrastruktur mikromobiliti yang mampan. Memandangkan Kemudahan Akses dan Infrastruktur merupakan dua kriteria paling dominan, strategi pembangunan laluan perlu beralih daripada sekadar penyediaan lorong kepada integrasi sistemik.

Berdasarkan keutamaan sambungan pengangkutan awam (54.0%), disarankan untuk pengutamakan pewartaan laluan dalam zon berdensiti tinggi yang menghubungkan kawasan kediaman ke stesen transit massa. Model perancangan harus berfokuskan kepada ketersambungan tanpa putus dalam radius 3 KM, bagi memastikan mod mikromobiliti menjadi pilihan utama berbanding kenderaan persendirian.

Dapatan mengenai kepentingan pemisah fizikal (35.2%) memberikan justifikasi teknikal kepada pihak berkuasa untuk menyemak semula garis panduan sedia ada. Penggunaan lorong kongsi tanpa perlindungan fizikal perlu diminimumkan di jalan-jalan utama. Sebaliknya, pembinaan pembahagi fizikal kekal adalah perlu untuk menjamin keselamatan mikromobiliti, selari dengan aspirasi pakar terhadap kriteria infrastruktur yang stabil.

Ketidaktekalan dalam kriteria akses mencerminkan perbezaan keperluan mengikut lokaliti bandar. Penggunaan data pemetaan ini membolehkan pihak berkuasa menetapkan zon geo-fencing yang dinamik, di mana had laju dan kawasan parkir kenderaan mikromobiliti dikawal secara automatik melalui perisian, bagi memenuhi tuntutan kriteria peraturan tempatan yang mencatatkan nilai konsistensi yang tinggi.

Secara keseluruhannya, integrasi antara pemetaan teknikal dan pengukuhan undang-undang kecil PBT akan memastikan ekosistem mikromobiliti bukan sahaja cekap dari segi mobiliti, malah selamat dan diyakini oleh komuniti setempat.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, keputusan AHP menunjukkan bahawa kriteria yang ditunjukkan mempunyai peranannya tersendiri dalam menentukan keutamaan laluan mikromobiliti. Walaupun nilai keutamaan antara kriteria menunjukkan perbezaan kecil, kemudahan akses muncul sebagai faktor utama dengan nilai pemberatan tertinggi (26.51%), diikuti oleh infrastruktur (25.53%), peraturan tempatan (23.99%) dan keselamatan (23.97%). Walaupun kriteria kemudahan akses menunjukkan tahap ketidakselarasan yang tinggi, ia dikekalkan dalam analisis

kerana kepentingannya yang kritikal dalam konteks perancangan mikromobiliti. Antara limitasi yang dihadapi adalah disebabkan oleh kekangan masa dan kesukaran mendapatkan maklum balas daripada pakar yang menyumbang kepada ketidakselarasan dalam pernilaian keputusan.

Dapatan ini menunjukkan bahawa aspek sambungan ke pengangkutan awam dan keadaan infrastruktur yang berkualiti perlu diberikan penekanan dalam perancangan laluan mikromobiliti. Selain itu, penyeragaman dasar tempatan dan peningkatan keselamatan pengguna juga penting bagi mewujudkan sistem mikromobiliti yang lebih selamat supaya dapat menyokong matlamat pembangunan pengangkutan bandar yang mampan.

PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas penyelidikan ini. Projek ini telah dibiayai di bawah SKIM GERAN PENYELIDIKAN FUNDAMENTAL (FRGS) - FRGS/1/2024/TK02/UKM/02/1.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

Aguarón, J. & Moreno-Jiménez, J.M. 2003. The geometric consistency index: Approximated thresholds. *European Journal of Operational Research* 147(1): 137–145. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00255-2

Alonso, J.A. & Lamata, M.T. 2006. Consistency in the Analytic Hierarchy Process: A new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 14(4): 445–459. https://doi.org/10.1142/S0218488506004114

Campisi, T., Akgün, N. & Tesoriere, G. 2020. An ordered logit model for predicting the willingness of renting micro mobility in urban shared streets: A case study in Palermo, Italy. Dlm. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020*, 796–808. Cham: Springer.

Çiçekli, S., Vega, D.A., Gürbüz, T., Nomine, A. & Rondeau, E. 2025. Bootstrapping-integrated fuzzy AHP for criteria weight evaluation in group decision-making. Dlm. *Intelligent and Fuzzy Systems: Artificial Intelligence in Human-Centric, Resilient & Sustainable Industries*, 578–585. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-97985-9_64

Duszak, Z. & Koczkodaj, W.W. 1994. Generalization of a new definition of consistency for pairwise comparisons. *Information Processing Letters* 52(5): 273–276. https://doi.org/10.1016/0020-0190(94)00155-3

García-Avilés, J.A. 2020. Diffusion of innovation. Dlm. *The International Encyclopedia of Media Psychology*. Wiley.

Goepel, K.D. 2018. Implementation of an online software tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process* 10(3). https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590

Greibe, P. & Buch, T.S. 2016. Capacity and behaviour on one-way cycle tracks of different widths. *Transportation Research Procedia* 15: 122–136. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.06.011

Hanberger, A. & Schild, I. 2004. Strategies to evaluate a university-industry knowledge-exchange programme. *Evaluation* 10(4): 475–492. https://doi.org/10.1177/1356389004050217

Heidrick, T.R., Kramers, J.W. & Godin, M.C. 2005. Deriving value from industry-university partnerships: A case study of the Advanced Engineering Materials Centre. *Engineering Management Journal* 17(3): 26–32. https://doi.org/10.1080/10429247.2005.11415294

Ishizaka, A. & Labib, A. 2011. Review of the main developments in the Analytic Hierarchy Process. *Expert Systems with Applications* 38(11): 14336–14345. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.143

Konidari, P. & Mavrakis, D. 2007. A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy* 35(12): 6235–6257. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.007

Ma, Q., Yang, H., Mayhue, A., Sun, Y., Huang, Z. & Ma, Y. 2021. E-scooter safety: The riding risk analysis based on mobile sensing data. *Accident Analysis & Prevention* 151: 105954. https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105954

Mediouni, A. & Cheikhrouhou, N. 2019. Expert selection for humanitarian projects development: A group decision making approach with incomplete information relations. *IFAC-PapersOnLine* 52(13): 1943–1948. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.487

Mohr, W., Rädke, A., Michalowsky, B. & Hoffmann, W. 2022. Elicitation of quantitative, choice-based preferences for person-centered care among people living with dementia in comparison to physicians' judgements in Germany: Study protocol for the mixed-methods PreDemCare-study. *BMC Geriatrics* 22(1): 567. https://doi.org/10.1186/s12877-022-03238-6

Ossadnik, W., Schinke, S. & Kaspar, R.H. 2016. Group aggregation techniques for Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: A comparative analysis. *Group Decision and Negotiation* 25(2): 421–457. https://doi.org/10.1007/s10726-015-9448-4

Park, J. & Abdel-Aty, M. 2016. Evaluation of safety effectiveness of multiple cross sectional features on urban arterials. *Accident Analysis & Prevention* 92: 245–255. https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.017

Rassafiani, M., Ziviani, J., Rodger, S. & Dalgleish, L. 2009. Identification of occupational therapy clinical expertise: Decision-making characteristics. *Australian Occupational Therapy Journal* 56(3): 156–166. https://doi.org/10.1111/j.1440-1630.2007.00718.x

Saaty, T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15(3): 234–281. https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5

Saaty, T.L. 1994. Homogeneity and clustering in AHP ensures the validity of the scale. *European Journal of Operational Research* 72(3): 598–601. https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90426-X

Saaty, T.L. 2016. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. Dlm. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, disunting oleh S. Greco, M. Ehrgott & J.R. Figueira, 363–419. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_10

Saaty, T.L. & Özdemir, M.S. 2014. How many judges should there be in a group? *Annals of Data Science* 1(3–4): 359–368. https://doi.org/10.1007/s40745-014-0026-4

Saaty, T.L. & Vargas, L.G. 2012. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. 2nd ed. New York: Springer.

Sahin, B. & Yazır, D. 2018. An analysis for the effects of different approaches used to determine expertise coefficients on improved fuzzy analytical hierarchy process method. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 33(3). https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416466

Tagle, L. & Celano, S. 2018. Reverse Evaluation to Enhance Strategies (REVES): Place-based evaluation of central policies. *Evaluation* 24(3): 267–283. https://doi.org/10.1177/1356389018783846

Tian, D., Ryan, A.D., Craig, C.M., Sievert, K. & Morris, N.L. 2022. Characteristics and risk factors for electric scooter-related crashes and injury crashes among scooter riders: A two-phase survey study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(16): 10129. https://doi.org/10.3390/ijerph191610129

Velasquez, M. & Hester, P.T. 2013. An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research* 10(2): 56–66.