

PENERIMAAN DAN KEBERKESANAN MESIN PENGASAH ELEKTROD TUNGSTEN (MPET) DALAM MENINGKATKAN KOMPETENSI KIMPALAN TIG PELAJAR TVET

ACCEPTANCE AND EFFECTIVENESS OF THE TUNGSTEN ELECTRODE SHARPENING MACHINE (TESM) IN ENHANCING THE TIG WELDING COMPETENCY OF TVET STUDENTS

Asrul Affendi Ahmad Ropai^{1*}

Mohd Helmi Md Salleh²

Fauzan Fitri³

¹ Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Azlan Shah, Perak, Malaysia

Email: asrul_affendi78@yahoo.com

² Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Azlan Shah, Perak, Malaysia

Email: helmi_salleh87@yahoo.com

³ Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Azlan Shah, Perak, Malaysia

Email: ffa3zan@yahoo.com

Corresponding Author

Article history

Received date : 19-6-2026

Revised date : 20-6-2026

Accepted date : 25-7-2026

Published date : 1-8-2026

To cite this document:

Ahmad Ropai, A. A., Md Salleh, M. H., & Fitri, F. (2026). Penerimaan dan keberkesanan mesin pengasah elektrod tungsten (MPET) dalam meningkatkan kompetensi kimpalan TIG pelajar TVET. *Journal of Islamic, Social, Economics and Development (JISED)*, 11 (85), 50 – 59.

Abstrak: Perkembangan teknologi automasi dalam Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) menuntut penggunaan peralatan yang lebih cekap, selamat dan ergonomik bagi meningkatkan kompetensi amali pelajar. Kajian ini bertujuan untuk menilai tahap penerimaan dan keberkesanan penggunaan Mesin Pengasah Elektrod Tungsten (MPET) dalam proses pengasahan elektrod bagi aplikasi kimpalan Tungsten Inert Gas (TIG) di Politeknik Sultan Azlan Shah (PSAS), Perak. MPET dibangunkan dengan mengintegrasikan fungsi pengasahan dwi-elektrod secara serentak, perumah keselamatan bersepadu, dan reka bentuk modular yang stabil bagi mengatasi kelemahan kaedah pencanai meja konvensional. Pendekatan kuantitatif menerusi kaedah tinjauan diaplikasikan terhadap sampel yang melibatkan keseluruhan 45 orang pelajar Semester 3 Diploma Kejuruteraan Mekanikal. Data primer dikumpul menggunakan instrumen soal selidik berstruktur dan dianalisis secara statistik deskriptif (skor min dan sisihan piawai) menggunakan perisian IBM SPSS versi 25. Hasil kajian empirikal menunjukkan kesemua dimensi yang dinilai mencatatkan interpretasi skor min pada tahap yang tinggi (julat 4.26 hingga 4.53), merangkumi aspek kepuasan pengguna, keberkesanan pengasahan, keselamatan operasi, kemudahan penggunaan, serta elemen ergonomik. Penggunaan MPET terbukti berjaya menghasilkan profil pengasahan elektrod yang seragam, mengekalkan kestabilan arka kimpalan, dan memitigasi risiko kemalangan fizikal di bengkel. Impak kajian ini membuktikan bahawa MPET berpotensi menyokong pembelajaran berasaskan kemahiran serta membudayakan amalan keselamatan industri di institusi TVET.

Kata kunci: *Mesin Pengasah Elektrod Tungsten, Kimpalan TIG, Kompetensi Pelajar, Keselamatan Bengkel*

Abstract: *The advancement of automation technology in Technical and Vocational Education and Training (TVET) demands the utilization of more efficient, safe, and ergonomic equipment to enhance students' practical competencies. This study aims to evaluate the level of acceptance and effectiveness of using the Tungsten Electrode Sharpening Machine (TESM) in the electrode sharpening process for Tungsten Inert Gas (TIG) welding applications at Politeknik Sultan Azlan Shah (PSAS), Perak. TESM was developed by integrating a simultaneous dual-electrode sharpening function, an integrated safety housing, and a stable modular design to overcome the limitations of the conventional bench grinder method. A quantitative approach using a survey method was applied to a sample comprising all 45 Semester 3 Diploma in Mechanical Engineering students. Primary data were collected using a structured questionnaire instrument and analyzed using descriptive statistics (mean score and standard deviation) via IBM SPSS software version 25. The empirical results demonstrated that all evaluated dimensions recorded mean score interpretations at a high level (ranging from 4.26 to 4.53), encompassing aspects of user satisfaction, sharpening effectiveness, operational safety, ease of use, and ergonomic elements. The deployment of TESM is proven to successfully produce uniform electrode sharpening profiles, maintain welding arc stability, and mitigate the risk of physical accidents in the workshop. The impact of this study proves that TESM has the potential to support skills-based learning and cultivate industrial safety practices in TVET institutions.*

Keywords: *Tungsten Electrode Sharpening Machine; TIG Welding; Student Competency; Workshop Safety*

Pengenalan

Institusi Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) memikul peranan besar dalam melahirkan modal insan berkemahiran tinggi yang mampu memenuhi standard industri moden (UNESCO, 2022). Bagi mencapai matlamat tersebut, persekitaran pembelajaran amali di dalam bengkel latihan perlulah dilengkapi dengan kemudahan peralatan yang cekap, selamat dan selari dengan perkembangan teknologi semasa (Ahmad & Sulaiman, 2021). Dalam domain kejuruteraan mekanikal, kimpalan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau lebih dikenali sebagai kimpalan TIG merupakan antara teknik penyambungan berketepatan tinggi yang digunakan secara meluas dalam sektor pembuatan, aeroangkasa dan automotif (American Welding Society, 2020; Messler, 2019).

Dalam proses kimpalan TIG, kualiti dan integriti rupa bentuk manik kimpalan amat dipengaruhi oleh ketepatan sudut dan profil geometri pada hujung elektrod tungsten yang digunakan (Kou, 2003). Ketidakseragaman rupa bentuk hujung elektrod bukan sahaja menjejaskan tumpuan haba penembusan, malah boleh menyebabkan berlakunya kecacatan struktur pada hasil sambungan kimpalan (Stadler et al., 2017). Walau bagaimanapun, pemerhatian di bengkel latihan institusi TVET mendapati kaedah penyediaan elektrod majoritinya masih bergantung kepada pendekatan konvensional menggunakan mesin pencanai meja secara manual (Cicic et al., 2018). Kaedah manual ini terdedah kepada isu ketidaksamaan sudut akibat faktor ralat manusia. Di samping itu, pengendalian pencanai meja secara manual turut mendedahkan pelajar kepada ancaman keselamatan yang serius, seperti risiko percikan api, pendedahan kepada debu tungsten yang berbahaya serta kecederaan fizikal pada tangan akibat sentuhan terus dengan

roda pencanai yang berputar pantas (Health and Safety Executive, 2023; Yusof & Osman, 2022).

Sebagai jalan penyelesaian kepada masalah tersebut, Mesin Pengasah Elektrod Tungsten (MPET) telah direka bentuk dan dibangunkan sebagai suatu inovasi peralatan amali. MPET menggabungkan mekanisme pengasahan mekanikal separa automatik, reka bentuk modular yang kompak serta sistem perlindungan keselamatan tertutup bagi menghasilkan sudut asahan elektrod yang konsisten dan selamat. Sungguhpun ujian mekanikal awal menunjukkan prestasi MPET yang baik, penilaian secara saintifik mengenai sejauh mana tahap penerimaan dan keberkesanan mesin ini daripada perspektif pengguna (pelajar) amat perlu dilaksanakan.

Objektif Kajian

Objektif khusus kajian ini meliputi:

- 1) Menilai tahap penerimaan pelajar terhadap penggunaan MPET berdasarkan lima dimensi utama iaitu kemudahan penggunaan, keselamatan operasi, keberkesanan pengasahan, aspek ergonomik dan tahap kepuasan keseluruhan.
- 2) Menilai tahap keberkesanan MPET terhadap proses pengasahan elektrod tungsten dalam aplikasi kimpalan TIG.

Tinjauan Literatur

Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET)

Ekosistem Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) bertindak sebagai pemangkin utama dalam membekalkan tenaga kerja mahir yang adaptif terhadap dinamika transisi teknologi dan perubahan industri global (UNESCO-UNEVOC, 2024). Dalam konteks ini, pengintegrasian peralatan inovasi dalam kurikulum latihan amali didapati mampu merangsang pemindahan kemahiran psikomotor pelajar secara lebih sistematik dan berkesan (Ahmad & Sulaiman, 2021). Pembudayaan kaedah latihan yang berpaksikan penggunaan peralatan kerja yang sistematik bukan sahaja mematangkan kemahiran manipulatif pelajar, malah memupuk kesedaran yang tinggi tentang amalan keselamatan kerja semasa berada di bengkel (Ahmad & Sulaiman, 2021; UNESCO, 2022). Oleh itu, pemantapan fasiliti bengkel TVET melalui teknologi hibrid perlu disokong demi melahirkan graduan yang kompeten dan kompetitif (Ahmad & Sulaiman, 2021).

Kimpalan Tungsten Inert Gas (TIG)

Kimpalan TIG atau GTAW merupakan salah satu proses kimpalan arka berketepatan tinggi yang menggunakan elektrod tungsten tidak lebur dan gas lengai sebagai medium perlindungan kolam leburan daripada kontaminasi atmosfera (American Welding Society, 2020; Messler, 2019). Kaedah ini diaplikasikan secara meluas dalam industri aeroangkasa, automotif, petrokimia dan fabrikasi logam berat kerana keupayaannya untuk menghasilkan sambungan kimpalan yang berkualiti tinggi serta mempunyai kadar kecacatan yang sangat rendah (Stadler et al., 2017).

Dalam pengoperasian kimpalan TIG, kestabilan arka memainkan peranan yang paling kritikal dalam menentukan kualiti dan integriti sambungan kimpalan yang dihasilkan (Kou, 2003). Faktor fizikal seperti kadar arus kimpalan, panjang jurang arka, jenis gas pelindung dan geometri hujung elektrod tungsten secara langsung mempengaruhi taburan haba serta kestabilan arka sepanjang proses kimpalan dijalankan (Lancaster, 1999; Stadler et al., 2017). Kajian eksperimen membuktikan bahawa sebarang perubahan mikroskopi pada profil geometri

hujung elektrod boleh mempengaruhi rupa bentuk arka dan taburan tenaga haba yang dipindahkan kepada logam asas (Stadler et al., 2017).

Pengasahan Elektrod Tungsten

Elektrod tungsten merupakan komponen teras dalam struktur kimpalan TIG kerana ia berfungsi sebagai medium utama untuk menghasilkan dan mengekalkan arka kimpalan (American Welding Society, 2020). Oleh yang demikian, penyediaan profil hujung elektrod yang tepat, seragam dan konsisten amat penting bagi menjamin kestabilan arka serta menghasilkan sambungan kimpalan yang bermutu (Kou, 2003). Menurut Cicic et al. (2018), kaedah pemprosesan dan ketepatan mekanikal semasa mengasah elektrod tungsten mempunyai pengaruh langsung terhadap bentuk rupa arka, kestabilan pancaran arka serta kedalaman penembusan kimpalan pada bahan kerja. Sebarang variasi atau herotan pada geometri hujung elektrod didapati memicu perubahan drastik terhadap ciri-ciri mekanikal arka yang terhasil semasa kimpalan TIG diaktifkan (Cicic et al., 2018).

Di samping itu, beberapa kajian rujukan berkaitan proses TIG turut mengesahkan bahawa parameter geometri elektrod merupakan antara pemboleh ubah utama yang mengawal selia taburan haba dan pembentukan kolam leburan semasa proses pencantuman logam berlaku (Stadler et al., 2017). Elektrod yang diasah dengan profil geometri yang seragam secara konsisten dapat membantu menghasilkan prestasi arka yang lebih stabil berbanding elektrod yang diasah secara rawak atau tidak konsisten (Stadler et al., 2017).

Walau bagaimanapun, proses pengasahan elektrod tungsten di bengkel latihan institusi TVET lazimnya masih dilaksanakan menggunakan mesin pencanai meja konvensional yang bergantung sepenuhnya kepada kemahiran motor kasar individu (Yusof & Osman, 2022). Keadaan manual ini berpotensi besar menghasilkan ketidakseragaman dari aspek sudut pengasahan dan kelurusan bentuk hujung elektrod. Selain menjejaskan kualiti pengasahan, penggunaan mesin pencanai manual turut meningkatkan risiko kemalangan fizikal akibat pendedahan langsung pelajar kepada serpihan batu pengisar, komponen berputar serta ancaman kesihatan daripada habuk pengisaran logam yang berisiko tinggi (Health and Safety Executive, 2023; National Institute for Occupational Safety and Health, 2021; Occupational Safety and Health Administration, 2023).

Inovasi dan Teknologi dalam Pembelajaran TVET

Pengintegrasian inovasi teknologi dalam acuan pembelajaran TVET semakin diberi penekanan kritikal kerana keupayaannya untuk meningkatkan keberkesanan proses pengajaran dan pembelajaran berasaskan kemahiran psikomotor (UNESCO-UNEVOC, 2024). Inovasi kontemporari yang dibangunkan bukan sahaja disasarkan untuk meningkatkan prestasi peralatan amali semata-mata, malah berfungsi untuk memitigasi kesilapan operasi (human error), memperkukuh aspek pengurusan risiko keselamatan, serta meningkatkan kepuasan pengalaman pembelajaran pelajar (Davis, 1989; Sekaran & Bougie, 2016). Selaras dengan agenda transformasi TVET global, UNESCO-UNEVOC (2024) menegaskan kepentingan pemakaian teknologi automasi bagi melahirkan modal insan teknikal yang berdaya saing dan tangkas mendepani evolusi industri moden.

Dalam konteks kajian ini, pembangunan Mesin Pengasah Elektrod Tungsten (MPET) dilihat sebagai satu langkah intervensi inovasi yang berpotensi meningkatkan kecekapan proses penyediaan elektrod TIG melalui penghasilan sudut pengasahan yang lebih konsisten, selamat dan mesra pengguna. Pengintegrasian elemen automasi mekanikal berserta ciri keselamatan

tertutup di dalam reka bentuk modular MPET ini secara langsung menyokong usaha institusi dalam memperkukuh amalan pembelajaran berasaskan industri dalam persekitaran TVET yang selamat (Yusof & Osman, 2022).

Jurang Kajian

Sorotan literatur lepas menunjukkan bahawa majoriti kajian terdahulu banyak memberikan tumpuan yang meluas kepada pengaruh geometri elektrod tungsten terhadap aspek kestabilan arka dan prestasi fizikal proses kimpalan TIG secara eksperimental di makmal (Cicic et al., 2018; Stadler et al., 2017). Namun demikian, kajian empirikal yang menilai implikasi pengoperasian mesin pengasah elektrod tungsten sebagai alat bantu mengajar (ABM) inovatif dalam domain instruksional TVET masih lagi terhad, khususnya yang meneliti aspek hubungan penerimaan teknikal pelajar, kemudahan penggunaan, parameter keselamatan bengkel serta kepuasan penggunaannya dalam kalangan pelajar institusi politeknik. Oleh itu, kajian ini dilaksanakan khusus untuk merapatkan jurang literatur sedia ada dengan menilai tahap penerimaan dan keberkesanan MPET dalam menyokong dinamika pembelajaran amali kimpalan TIG dalam kalangan pelajar Diploma Kejuruteraan Mekanikal di Politeknik Sultan Azlan Shah (PSAS).

Metodologi

Reka Bentuk Kajian

Kajian ini menggunakan pendekatan jenis kuantitatif menerusi reka bentuk tinjauan deskriptif bagi meneroka parameter penerimaan serta keberkesanan praktikal unit MPET dalam mengiringi proses latihan amali kimpalan TIG. Pemilihan metodologi ini membolehkan data primer diperoleh secara berstruktur sekali gus membenarkan interpretasi dilakukan secara objektif berlandaskan kaedah statistik. Mengikut saranan Creswell dan Creswell (2018), reka bentuk tinjauan deskriptif adalah sangat berkesan bagi mengenal pasti maklum balas, corak pemikiran dan refleksi empirikal responden terhadap implikasi sesuatu intervensi atau aplikasi teknologi baru yang diperkenalkan.

Populasi dan Sampel

Populasi kajian difokuskan secara khusus kepada pelajar Diploma Kejuruteraan Mekanikal di PSAS, Perak, yang mendaftar kursus amali TIG dan menggunakan perkakasan MPET sepanjang modul praktikal. Disebabkan saiz populasi yang terhad, spesifik dan berada dalam capaian terus menyelidik, teknik persampelan menyeluruh telah diaplikasikan. Melalui strategi ini, keseluruhan unit dalam populasi diambil tanpa kecikiran sebagai responden rasmi bagi menghapuskan ralat persampelan rawak serta mengawal ralat bias (Hair et al., 2019). Secara praktikalnya, pengumpulan maklumat melibatkan gandingan tiga buah kelas berasingan iaitu DKM3A, DKM3B dan DKM3C yang membentuk jumlah keseluruhan seramai 45 orang pelajar Semester 3.

Instrumen Kajian

Pengumpulan data menggunakan set soal selidik berstruktur yang diadaptasi daripada kerangka Model Penerimaan Teknologi (TAM) oleh Davis (1989), yang kemudiannya dimodifikasi mengikut realiti persekitaran TVET, regulasi keselamatan bengkel dan dinamika fizikal proses pengasahan elektrod. Edaran instrumen disalurkan menggunakan aplikasi *Google Forms* bagi menyegerakan pengumpulan maklumat dan meminimumkan kecikiran data. Pecahan komponen instrumen adalah seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 1.

Jadual 1: Struktur Pembahagian Item Instrumen Kajian

Bahagian	Konstruk/Dimensi Penilaian	Bilangan Item
A	Maklumat Responden	2
B	Kemudahan Penggunaan	5
B	Keselamatan Operasi	5
B	Keberkesanan Pengasahan	5
B	Ergonomik dan Keselesaan	5
B	Kepuasan Pengguna	5
Jumlah		27

Bahagian A memetakan profil latar belakang asas (jantina dan pengelasan kelas), manakala Bahagian B menempatkan 25 item teras bagi mengukur lima pemboleh ubah utama. Peringkat maklum balas Bahagian B ditentukan menerusi Skala Likert Lima Mata (Likert, 1932) bermula daripada skala 1 (Sangat Tidak Setuju) sehinggalah skala 5 (Sangat Setuju).

Bagi menjamin kualiti dan kesahan instrumen sebelum edaran sebenar, kajian rintis dilaksanakan terlebih dahulu ke atas kumpulan luar yang homogen melibatkan 15 orang pelajar senior yang telah menamatkan modul amali kimpalan TIG. Langkah ini memastikan item bebas daripada ralat kekaburan bahasa serta mengelakkan kesan bias maklumat. Analisis data rintis membuktikan kebolehpercayaan instrumen adalah kukuh dengan nilai Alpha Cronbach keseluruhan mencatatkan $\alpha = 0.907$ (julat konstruk antara 0.857 hingga 0.918). Menurut garis panduan Hair et al. (2019), skor yang melebihi indeks 0.70 mengesahkan instrumen mempunyai darjah konsistensi dalaman yang mantap dan sedia digunakan untuk kutipan data sebenar.

Kaedah Analisis Data

Data maklum balas dalam *Google Forms* disaring dan dipindahkan ke dalam perisian *Statistical Package for the Social Sciences* (IBM SPSS) Versi 28 untuk pemprosesan komputer. Analisis profil responden (Bahagian A) diselesaikan menggunakan statistik deskriptif frekuensi dan peratusan. Bagi maklum balas Bahagian B, perkiraan skor min (M) serta sisihan piawai (SP) digunakan bagi menilai kecenderungan jawapan pelajar terhadap keberkesanan MPET. Proses interpretasi tahap skor min dibuat berpanduan pembahagian julat berhierarki oleh Pallant (2020) seperti dalam Jadual 2.

Bagi memberikan rumusan keputusan yang berstruktur, proses interpretasi tahap skor min adalah diadaptasi daripada panduan julat berhierarki oleh Pallant (2020) seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2. Penanda aras interpretasi ini menjadi asas rujukan saintifik dalam merumuskan sejauh mana sumbangan impak inovasi MPET dalam memperkukuh dimensi instruksional dan teknikal pelajar Diploma Kejuruteraan Mekanikal di PSAS.

Jadual 2: Julat Interpretasi Tahap Skor Min

Julat Min	Interpretasi Tahap Penerimaan / Keberkesanan
1.00 – 2.33	Rendah
2.34 – 3.66	Sederhana
3.67 – 5.00	Tinggi

Dapatan Kajian dan Perbincangan

Bahagian ini membincangkan dapatan kajian secara empirikal serta mengaitkannya dengan sorotan literatur bagi menilai tahap penerimaan dan keberkesanan penggunaan MPET dalam

menyokong pembelajaran amali kimpalan TIG dalam kalangan pelajar Diploma Kejuruteraan Mekanikal di PSAS bagi Sesi 1 2025/2026.

Profil Responden

Merujuk kepada taburan data dalam Jadual 3, komposisi penglibatan pelajar adalah seimbang merentasi ketiga-tiga kumpulan amali yang disasarkan. Peratusan pecahan menunjukkan kelas DKM3A merangkumi 33.3% (15 pelajar), DKM3B sebanyak 31.1% (14 pelajar) dan DKM3C mencatatkan 35.6% (16 pelajar). Keseimbangan taburan ini memastikan maklum balas yang dikumpul mewakili variasi pengalaman sebenar pelajar yang mengikuti kursus kimpalan TIG di PSAS.

Jadual 3: Taburan Responden Mengikut Kelas (N=45)

Kelas	Frekuensi (<i>f</i>)	Peratusan (%)
DKM3A	15	33.3
DKM3B	14	31.1
DKM3C	16	35.6
Jumlah	45	100.0

Analisis Deskriptif Tahap Penerimaan dan Keberkesanan MPET

Analisis statistik deskriptif dijalankan bagi menjawab objektif utama kajian menerusi parameter skor min (*M*) dan sisihan piawai (*SP*) bagi setiap konstruk yang dinilai. Rumusan data deskriptif dipaparkan dalam Jadual 4.

Jadual 4: Analisis Deskriptif Mengikut Konstruk Kajian (N=45)

Konstruk Kajian	Skor Min (<i>M</i>)	Sisihan Piawai (<i>SP</i>)	Interpretasi Tahap
Kepuasan Pengguna	4.53	0.39	Tinggi
Keberkesanan Pengasahan	4.48	0.43	Tinggi
Keselamatan Operasi	4.41	0.46	Tinggi
Kemudahan Penggunaan	4.32	0.48	Tinggi
Ergonomik dan Keselesaan	4.26	0.51	Tinggi
Keseluruhan	4.40	0.45	Tinggi

Hasil analisis dalam Jadual 4 menunjukkan bahawa kesemua konstruk kajian memperoleh skor min yang tinggi dengan nilai purata keseluruhan sebanyak $M=4.40$ ($SP=0.45$). Dapatan ini memberikan bukti empirikal yang konklusif bahawa para pelajar memberikan persepsi yang sangat positif terhadap pengintegrasian inovasi MPET dalam aktiviti amali mereka.

Dari aspek penerimaan pengguna, konstruk Kepuasan Pengguna dominan pada kedudukan tertinggi dengan mencatatkan skor min $M=4.53$ ($SP=0.39$). Dapatan ini menunjukkan majoriti pelajar berpuas hati dengan prestasi MPET dan menerima penggunaannya secara terbuka sebagai alat bantu dalam proses pembelajaran amali. Tahap kepuasan yang tinggi ini dipengaruhi oleh faktor kemudahan penggunaan, reka bentuk modular yang mesra pengguna serta keupayaan peranti ini menghasilkan rupa bentuk asahan yang lebih tekal berbanding kaedah konvensional. Penemuan ini selari dengan penegasan UNESCO-UNEVOC (2024) bahawa pengintegrasian teknologi dan inovasi kontemporari dalam ekosistem TVET berupaya memperkayakan pengalaman pembelajaran serta membantu pelajar menguasai kemahiran teknikal secara lebih efektif.

Konstruk Keberkesanan Pengasahan berada pada hierarki kedua tertinggi dengan memperoleh skor min $M=4.48$ ($SP=0.43$). Skor tinggi ini membuktikan MPET berjaya menghasilkan profil geometri hujung elektrod tungsten yang jauh lebih seragam dan konsisten. Keadaan ini amat kritikal kerana ketepatan dimensi geometri hujung elektrod mempunyai hubungan langsung dengan parameter pengawalan kestabilan arka serta penentu kualiti rupa bentuk manik kimpalan TIG. Penemuan ini menyokong hasil kajian eksperimental oleh Cicic et al. (2018) yang mendapati bahawa mekanika pemprosesan elektrod tungsten mempengaruhi bentuk geometri arka serta prestasi penembusan kimpalan yang terhasil. Oleh itu, MPET terbukti berkesan dalam meningkatkan kualiti penyediaan elektrod sebelum kerja kimpalan sebenar dijalankan.

Bagi konstruk Keselamatan Operasi, nilai min yang direkodkan adalah $M=4.41$ ($SP=0.46$). Data ini menjelaskan bahawa pelajar berasa lebih selamat dan yakin semasa mengendalikan MPET berbanding kaedah pengasahan menggunakan pencanai meja konvensional. Kehadiran ciri kawalan risiko kejuruteraan seperti pelindung cakera akrilik dan suis kecemasan didapati menyumbang secara langsung kepada persepsi positif tersebut. Aspek keselamatan merupakan elemen paling asas dalam latihan amali TVET kerana persekitaran bengkel mendedahkan pelajar kepada mesin berisiko tinggi. Justeru, pembangunan inovasi yang mengutamakan perlindungan fizikal mampu memitigasi risiko kemalangan serta meningkatkan keyakinan psikomotor pelajar semasa amali (Yusof & Osman, 2022).

Seterusnya, konstruk Kemudahan Penggunaan mencatatkan skor min $M=4.32$ ($SP=0.48$). Hal ini membuktikan pelajar bersetuju bahawa MPET mudah dikendalikan tanpa memerlukan latihan motor manual yang rumit, sekali gus membantu mempercepatkan proses penyediaan elektrod. Akhir sekali, konstruk Ergonomik dan Keselesaan mencatatkan skor min terendah iaitu $M=4.26$ ($SP=0.51$), namun nilainya tetap berada pada tahap interpretasi yang tinggi. Dapatan ini mengesahkan bahawa reka bentuk fizikal MPET secara keseluruhannya memenuhi standard antropometri pelajar dari segi kestabilan struktur, keselesaan operasi dan kemudahan pengendalian di ruang kerja bengkel.

Secara keseluruhannya, hasil dapatan data deskriptif dan perbincangan literatur ini membuktikan bahawa penggunaan MPET berpotensi besar untuk meningkatkan kecekapan proses penyediaan elektrod tungsten dalam ekosistem kimpalan TIG. Inovasi ini bukan sahaja membantu meningkatkan aspek kualiti produk, malah memberikan impak serentak kepada dimensi keselamatan operasi, kemudahan pengendalian dan kepuasan optimum pengguna. Keadaan ini amat bertepatan dengan aspirasi transformasi TVET global yang menekankan pemanfaatan teknologi dan inovasi bagi meningkatkan kompetensi teknikal pelajar demi memenuhi keperluan pasaran industri masa hadapan.

Kesimpulan

Kajian ini merumuskan bahawa pengintegrasian MPET dalam latihan amali kimpalan TIG mendapat penerimaan yang amat tinggi daripada pelajar TVET di PSAS. MPET terbukti berjaya mengatasi kelemahan sistem pengasahan manual konvensional dengan menawarkan hasil sudut asahan yang jitu, meningkatkan perlindungan keselamatan bengkel serta memberikan keselesaan ergonomik kepada pengguna.

Beberapa saranan dikemukakan bagi memperluaskan lagi impak inovasi ini. Pertama, perluasan sampel kajian. Kajian akan datang dicadangkan untuk melibatkan institusi TVET lain seperti Kolej Komuniti dan ILP bagi memperkukuhkan generalisasi data. Kedua, penambahan ciri

pintar bagi meningkatkan reka bentuk MPET dengan memasukkan sistem penderia (sensor) elektronik bagi kawalan sudut asahan secara digital yang lebih dinamik. Ketiga, melaksanakan kajian lanjutan secara eksperimen di makmal untuk menguji kesan ketepatan sudut elektrod MPET terhadap kekuatan mekanikal (seperti ujian regangan atau ujian impak) hasil kimpalan.

Penghargaan

Penulis merakamkan ucapan penghargaan kepada Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Azlan Shah (PSAS), Perak atas penyediaan fasiliti bengkel serta penglibatan pelajar berkenaan sebagai responden dalam penerbitan artikel ini.

Rujukan

- Ahmad, M. S., & Sulaiman, N. (2021). Peranan TVET dalam memacu industri tempatan. *Jurnal Pendidikan Malaysia*, 46(1), 23-32.
- American Welding Society. (2020). *Welding handbook* (10th ed.). AWS.
- Cicic, D. T., Rontescu, C., Savulescu, V., & Bogatu, A. M. (2018). The processing method of the tungsten electrodes and the current type choice influence on the shape of the welding arc in tungsten inert gas welding (TIG). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 400(2), 022016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/400/2/022016>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage Publications.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Health and Safety Executive. (2023). *Welding fume: Control and exposure risks*. HSE.
- Kou, S. (2003). *Welding metallurgy* (2nd ed.). Wiley.
- Lancaster, J. F. (1999). *The physics of welding*. Pergamon Press.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1-55.
- Messler, R. W. (2019). *Principles of welding: Processes, physics, chemistry, and metallurgy*. Wiley.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2021). *Welding, brazing, and thermal cutting*. Centers for Disease Control and Prevention.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2023). *Welding, cutting, and brazing safety*. U.S. Department of Labor.
- Pallant, J. (2020). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research methods for business: A skill-building approach* (7th ed.). Wiley.
- Stadler, M., Freton, P., & Gonzalez, J. J. (2017). Influence of welding parameters on the weld pool dimensions and shape in a TIG configuration. *Applied Sciences*, 7(4), 373. <https://doi.org/10.3390/app7040373>
- UNESCO. (2022). *Strategy for Technical and Vocational Education and Training (TVET) 2022-2029*. UNESCO.
- UNESCO-UNEVOC. (2024). *UNESCO-UNEVOC medium-term strategy 2024-2026: Elevating TVET for a just and sustainable future for all*. UNESCO-UNEVOC.
- United Nations Environment Programme. (2022). *Resource efficiency and sustainable consumption*. UNEP.

Yusof, M., & Osman, K. (2022). Keselamatan dan kesihatan pekerjaan dalam bengkel kejuruteraan TVET. *Jurnal Kejuruteraan*, 34(2), 145-154.