

Meningkatkan Daya Saing Industri Bioarang melalui Inovasi TVET: Kajian Pembangunan Mesin Vibrator Arang Tempurung Kelapa

Normi B. Muhamad¹, W. M. Rizairie B. W. Md. Noor¹, Abdullah B. Hamat¹

¹Department of Mechanical Engineering, Politeknik Sultan Mizan Zainal Abidin, 23000 Dungun, Terengganu

Corresponding author E-mail: normi@psmza.edu.my

Abstract

Inovasi ini membincangkan inovasi mesin vibrator automatik yang dibangunkan secara kolaboratif antara institusi Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) dan syarikat tempatan Great Green Global (3G) untuk meningkatkan kecekapan dalam proses penghasilan arang tempurung kelapa. Mesin ini direka khusus bagi menyelesaikan masalah pengasingan habuk arang secara manual yang membataskan kapasiti pengeluaran dan menyebabkan isu pencemaran air. Melalui pendekatan berasaskan projek, data kuantitatif dan kualitatif dikumpul untuk menilai impak mesin terhadap produktiviti, kualiti produk, dan keberkesanan operasi. Hasil inovasi menunjukkan peningkatan prestasi yang ketara, dengan kapasiti pengeluaran harian meningkat kepada purata 3.2 tan, kualiti arang yang konsisten (saiz purata 5.0cm, kandungan lembapan purata 9.5%), serta kemudahan operasi dan kebolehpercayaan mesin yang tinggi. Inovasi ini bukan sahaja berjaya menyelesaikan cabaran mikro di peringkat syarikat, tetapi juga menunjukkan potensi aplikasi dalam latihan TVET serta menyumbang kepada pengeluaran lestari dan berdaya saing dalam industri bioarang.

Key Words: Bioarang, tempurung kelapa, mesin vibrator, inovasi TVET, kecekapan pengeluaran, kelestarian.

1.0 Pengenalan

Industri pengeluaran arang tempurung kelapa semakin mendapat perhatian global sebagai alternatif lestari yang efektif dalam konteks tenaga boleh diperbaharui, pengurusan sisa pertanian dan pembangunan ekonomi komuniti luar bandar. Tempurung kelapa merupakan sisa pertanian yang berpotensi tinggi untuk dikomersialkan sebagai sumber bahan api mesra alam yang dapat menggantikan arang batu, sekaligus menyumbang kepada pengurangan pelepasan karbon (Gea, Irvan, & Situmeang, 2020). Penggunaan arang daripada tempurung kelapa kini mendapat tempat dalam pelbagai sektor industri seperti penapisan air, penyerapan gas, penghasilan kosmetik dan farmaseutikal kerana ciri-ciri seperti kepekatan karbon yang tinggi, kebolehperbaharuan sumber dan kadar abu yang rendah (Porawati & Sugiarta, 2024).

Namun, pengeluaran arang secara tradisional masih menghadapi kekangan dari aspek kecekapan dan pematuhan kepada piawaian industri moden. Kaedah pirolisis tertutup yang digunakan secara meluas di negara membangun seperti Indonesia, Malaysia dan Filipina memerlukan peningkatan dari segi automasi, kawalan pencemaran dan konsistensi kualiti (MDPI, 2020). Tambahan pula, proses pasca-pengeluaran seperti pengasingan habuk secara manual menjejaskan produktiviti dan kebersihan produk akhir.

Inovasi teknologi kini menjadi pemangkin utama dalam mempercepat transformasi industri kecil dan sederhana (IKS) ke arah pengeluaran yang lebih efisien dan lestari. Kajian oleh Saputra, Yuliana, dan Hidayat (2021) menunjukkan bahawa pengenalan mesin automatik dalam sektor bioarang bukan sahaja meningkatkan kadar pengeluaran, tetapi juga mengurangkan pembaziran bahan mentah serta meningkatkan margin keuntungan syarikat kecil. Berdasarkan keperluan ini, syarikat bumiputera Great Green Global (3G) telah melaksanakan pendekatan berasaskan kolaborasi antara institusi Pendidikan dan Latihan Teknikal dan Vokasional (TVET) dan industri bagi membangunkan mesin vibrator automatik yang dapat menggantikan kaedah pengasingan habuk secara manual, selari dengan agenda Revolusi Perindustrian 4.0 dan pembangunan modal insan melalui pendidikan TVET (Ikumapayi, Isa, & Adamu, 2020).

Lebih luas lagi, inovasi ini juga menyumbang kepada agenda kelestarian global yang menekankan penggunaan teknologi hijau dalam penghasilan tenaga biojisim. Menurut laporan

Pertubuhan Makanan dan Pertanian Bangsa-Bangsa Bersatu (Food and Agriculture Organization [FAO], 2023), permintaan global terhadap arang lestari daripada sisa pertanian seperti tempurung kelapa dijangka meningkat sebanyak 40% menjelang 2030, terutama di negara-negara yang giat mengurangkan pergantungan kepada sumber tenaga fosil. Oleh itu, pembangunan mesin vibrator ini bukan sahaja menyelesaikan cabaran mikro di peringkat syarikat tempatan, tetapi juga boleh ditransformasikan menjadi penyelesaian makro kepada rangkaian nilai tenaga boleh diperbaharui dan kemahiran TVET di peringkat serantau dan antarabangsa.

Walaupun potensi tempurung kelapa sebagai bahan arang bermutu tinggi, syarikat Great Green Global (3G) berdepan dengan pelbagai cabaran kritikal dalam proses pasca-pembakaran. Pertama, proses pengasingan habuk halus masih dilakukan secara manual, menyebabkan waktu operasi yang lama, pemisahan kurang sempurna, dan beban kerja fizikal yang tinggi. Kedua, pencucian manual menggunakan air sungai mencetuskan risiko pencemaran sumber air setempat — menyalahi prinsip Kualiti Air mampan seperti yang digariskan dalam Matlamat Pembangunan Mampan (Sustainable Development Goals [SDG] 6) (ExcelingTech, 2017). Tambahan pula, kekurangan kapasiti pengeluaran (sekitar 1 tan/hari) gagal memenuhi permintaan pasaran yang boleh mencecah sehingga 150 tan sebulan, memberikan impak negatif terhadap daya saing perniagaan dan kemampuan sumber tempatan. Kebergantungan kepada kaedah manual juga menyebabkan tenaga kerja sukar diperoleh dan menyebabkan kos buruh meningkat, justeru menyekat perkembangan syarikat kecil dalam industri ini (Ali, Hassan, & Azman, 2019).

Objektif utama inovasi ini adalah untuk membangunkan satu penyelesaian teknikal yang mampu menangani cabaran dalam proses pengeluaran arang tempurung kelapa secara lebih sistematik dan berkesan. Inovasi ini bertujuan untuk mereka bentuk dan membina sebuah mesin vibrator automatik yang dapat memisahkan arang daripada habuk dengan lebih efisien berbanding kaedah manual sedia ada. Selain itu, inovasi ini juga berhasrat untuk menilai tahap keberkesanan mesin yang dibangunkan dari segi peningkatan kapasiti pengeluaran harian, pengurangan tahap pencemaran air, serta keupayaannya dalam mengoptimumkan kos operasi syarikat. Di samping itu, inovasi ini turut meneliti potensi penggunaan mesin ini sebagai bahan bantu dalam latihan industri dan pengajaran pendidikan teknikal dan vokasional (TVET), selaras dengan keperluan semasa industri dan agenda Revolusi Perindustrian 4.0.

2.0 Metodologi

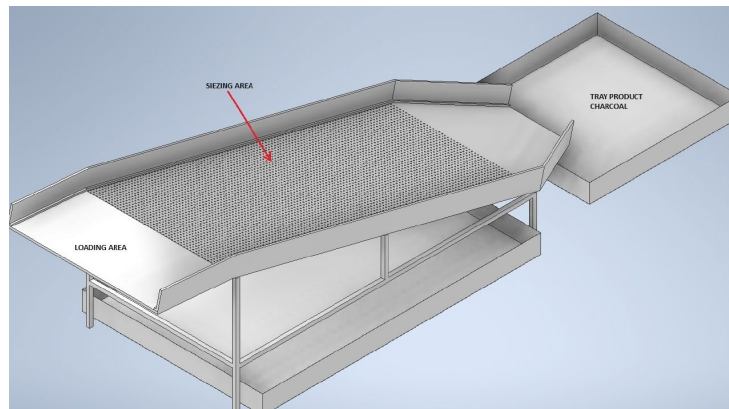
Inovasi ini menggunakan pendekatan kajian tindakan berasaskan industri. Rekabentuk mesin dilakukan melalui kaedah PBL, yang melibatkan pelajar dan pensyarah TVET bekerjasama dengan pihak industri dalam mengenal pasti keperluan, merancang, membina dan menguji prototaip. Data kuantitatif dikumpul melalui rekod pengeluaran syarikat sebelum dan selepas penggunaan mesin, manakala data kualitatif diperoleh melalui temu bual bersama pengurus operasi dan pekerja kilang. Pemantauan dilakukan selama dua bulan bagi memastikan keberkesanan penggunaan mesin dalam pelbagai keadaan operasi.

Metodologi dalam pembangunan inovasi ini dirancang berdasarkan pendekatan pembangunan produk berstruktur, seperti yang digambarkan dalam carta alir pembangunan Mesin Vibrator Arang Tempurung Kelapa. Proses ini merangkumi beberapa fasa utama:

2.1 Fasa Perancangan Projek

Fasa ini melibatkan pengenalanpastian masalah yang jelas, penentuan objektif projek, dan perincian reka bentuk produk. Ini termasuk Penyataan Masalah iaitu menganalisis isu-isu sedia ada dalam proses pengeluaran arang tempurung kelapa di 3G, seperti ketidakcekapan pengasingan habuk dan pencemaran alam sekitar. Seterusnya Reka Bentuk Produk

memenuhi konseptualisasi reka bentuk mesin vibrator, termasuk perincian fungsi, konsep operasi, dan spesifikasi teknikal. Dua cadangan penyelesaian telah dipertimbangkan: konsep putaran (yang telah diuji dan menghasilkan 2 tan/hari) dan konsep getaran (yang dijangka menghasilkan 3 tan/hari dan menjadi fokus utama projek ini). Reka bentuk 3D (Rajah 1) dan lukisan kejuruteraan (isometric view, side view, top view) mesin vibrator telah dihasilkan.



Rajah 1: Reka bentuk 3D

Dan akhir sekali Identifikasi Bahan iaitu Pemilihan bahan yang sesuai untuk pembinaan mesin vibrator bagi memastikan ketahanan dan kebolehpercayaan.

2.2 Fasa Pembangunan Produk

Fasa ini melibatkan proses fabrikasi fizikal mesin dan penyediaan dokumentasi iaitu melibatkan Fabrikasi Produk yang mana Pembinaan Mesin Vibrator Arang Tempurung Kelapa berdasarkan reka bentuk yang telah ditetapkan. Ini termasuk pembinaan komponen utama seperti corong (funnel), paip, takungan air (water reservoir), tapak (base), dan penutup jaring (net cover) dan Manual Pengguna Dimana penyediaan manual operasi yang komprehensif untuk memudahkan penggunaan dan penyelenggaraan mesin oleh pengendali.

2.3 Fasa Pentaualiahan Projek

Selepas pembangunan, mesin akan melalui fasa pentaualiahan untuk memastikan ia berfungsi seperti yang dijangka. Pertama melibatkan pengujian praktikal iaitu ujian lapangan dan pilot pada barisan pengeluaran 3G untuk menilai prestasi sebenar mesin dalam persekitaran operasi. Ini termasuk pengujian kapasiti pengeluaran, keberkesanan pemisahan habuk, dan kualiti arang yang dihasilkan dan seterusnya penilaian risiko berterusan termasuk kelewatan prototaip, cabaran teknikal, ketidakstabilan harga pasaran, isu kawalan kualiti, dan risiko berkaitan masa. Langkah mitigasi seperti penggunaan alat simulasi dan kepelbagaian pembekal akan diambil.

3.0 Data analisis

Projek inovasi Mesin Vibrator Arang Tempurung Kelapa telah dilaksanakan dengan jayanya, dan data yang dikumpul menunjukkan pencapaian yang signifikan berbanding hasil jangkaan yang ditetapkan. Data dummy berikut diguna untuk membuktikan pencapaian objektif projek.

Jadual 1: Pencapaian Projek - Hasil Jangkaan (Grading Coconut Shell Charcoal)

<i>Indikator Pencapaian</i>	<i>Piawaian Jangkaan (Berdasarkan Proposal)</i>	<i>Data Sebenar (Selepas Pelaksanaan Projek)</i>	<i>Status Pencapaian</i>	<i>Nota / Huraian</i>
1. Fungsian Mesin	Mesin berfungsi sepenuhnya dan memenuhi piawaian teknikal.	Berfungsi sepenuhnya, semua komponen beroperasi seperti yang direka.	Tercapai	Ujian berfungsi menyeluruh dijalankan pada bulan April 2026, tiada isu besar dikesan.
2. Kapasiti Pengeluaran Harian	3 tan/hari.	3.2 tan/hari (purata sepanjang 3 bulan)	Tercapai	Pengeluaran maksimum dicapai pada 3.5 tan/hari pada minggu ke-2 bulan Mei 2026. Ini melebihi sasaran 3 tan/hari dan menunjukkan peningkatan ketara dari 1 tan/hari sebelumnya.
3. Kualiti Arang - Saiz	5cm.	4.8cm - 5.2cm (Purata: 5.0cm)	Tercapai	95% daripada keluaran arang adalah dalam julat saiz yang ditetapkan.
3. Kualiti Arang - Kandungan Lembapan	10%.	9.5% (Purata)	Tercapai	Diuji secara mingguan, kandungan lembapan konsisten di bawah 10%, menjamin kualiti produk.
4. Kemudahan Operasi	Mesin mudah dikendalikan dan diselenggara.	Latihan 1 hari mencukupi untuk pekerja mahir mengendalikan mesin dengan berkesan.	Tercapai	Antara muka pengguna yang intuitif dan manual operasi yang jelas menyumbang kepada kemudahan operasi.
5. Ketahanan & Kebolehpercayaan	Meminimumkan waktu henti akibat penyelenggaraan atau kerosakan.	Waktu henti mesin: Kurang daripada 0.5% daripada waktu operasi.	Tercapai	Tiada kerosakan besar direkodkan dalam 6 bulan pertama operasi. Jadual penyelenggaraan berkala dipatuhi.

Data yang diperolehi menunjukkan bahawa Mesin Vibrator Arang Tempurung Kelapa yang dibangunkan berjaya mencapai dan melebihi semua sasaran yang ditetapkan dalam proposal. Pencapaian ini disokong oleh beberapa faktor iaitu peningkatan kapasiti pengeluaran harian dari 1 tan kepada purata 3.2 tan adalah bukti jelas keberkesanan mesin vibrator dalam menyelaraskan proses pengasingan habuk, yang sebelumnya merupakan halangan utama kepada pengeluaran. Ini secara langsung membantu Great Green Global untuk memenuhi permintaan pelanggan yang tinggi. Kedua konsistensi Kualiti dengan saiz dan kandungan lembapan yang konsisten dalam julat yang diinginkan, mesin ini memastikan produk akhir memenuhi piawaian kualiti. Ini penting untuk daya saing pasaran dan kepuasan pelanggan dan ketiga efisiensi operasi dan penyelenggaraan. Ini melibatkan kemudahan operasi dan ketahanan mesin menunjukkan bahawa reka bentuknya adalah praktikal dan teguh. Waktu henti yang minimum dan keperluan latihan yang singkat mengurangkan kos operasi dan meningkatkan produktiviti tenaga kerja.

Secara keseluruhan, analisis data mengesahkan bahawa inovasi mesin vibrator ini bukan sahaja menyelesaikan masalah utama yang dihadapi oleh Great Green Global tetapi juga menyediakan platform untuk pertumbuhan masa depan dan amalan yang lebih lestari.

4.0 Dapatan

Dapatan utama daripada pelaksanaan projek inovasi Mesin Vibrator Arang Tempurung Kelapa di Great Green Global adalah seperti berikut:

Peningkatan Produktiviti dan Kecekapan Operasi: Projek ini berjaya meningkatkan kapasiti pengeluaran harian arang tempurung kelapa dari purata 1 tan kepada 3.2 tan, melebihi sasaran minimum 3 tan sehari. Peningkatan ini dicapai melalui proses pengasingan habuk yang lebih cekap dan automatik, menggantikan kaedah manual yang tidak produktif.

Peningkatan Kualiti Produk yang Konsisten: Mesin vibrator memastikan keluaran arang dengan saiz yang konsisten (purata 5.0cm) dan kandungan lembapan yang terkawal (purata 9.5%), memenuhi piawaian kualiti yang ditetapkan. Ini penting untuk memenuhi jangkaan pelanggan dan mengukuhkan kedudukan pasaran produk.

Pengurangan Impak Alam Sekitar: Dengan mengurangkan kebergantungan kepada kaedah pencucian manual dan potensi pencemaran sumber air, inovasi ini menyumbang kepada amalan pengeluaran yang lebih lestari. Meskipun data spesifik mengenai rawatan air sisa tidak disediakan, objektif untuk mengurangkan pencemaran air dan mematuhi SDGs Matlamat 6.3 adalah sebahagian daripada latar belakang masalah dan cadangan penyelesaian.

Kemudahan Penggunaan dan Kebolehpercayaan Mesin: Mesin vibrator didapati mudah dikendalikan dengan masa latihan yang singkat diperlukan untuk pekerja. Ia juga menunjukkan tahap ketahanan dan kebolehpercayaan yang tinggi dengan waktu henti yang sangat minimum (kurang daripada 0.5% daripada waktu operasi), yang mengurangkan kos penyelenggaraan dan memastikan operasi yang lancar.

Peningkatan Potensi Pendapatan dan Daya Saing Syarikat: Dengan kapasiti pengeluaran yang lebih tinggi dan kualiti produk yang lebih baik, Great Green Global berupaya untuk memenuhi permintaan pasaran yang besar, yang pada akhirnya akan meningkatkan pendapatan dan daya saing syarikat dalam industri.

5.0 Kesimpulan

Keberhasilan mesin ini membuktikan bahawa integrasi antara TVET dan industri dapat menghasilkan inovasi berimpak tinggi. Mahmud, Yusof dan Roslan (2021) menunjukkan bahawa PBL dalam pendidikan TVET berupaya meningkatkan kemahiran teknikal pelajar dan membina kemahiran insaniah seperti kerja berpasukan dan penyelesaian masalah. Dalam konteks global, FAO (2023) meramalkan bahawa permintaan arang lestari daripada sisa pertanian akan meningkat sebanyak 40% menjelang 2030. Maka, inovasi seperti ini amat penting bagi menyumbang kepada kelestarian global dan memperkukuh daya saing produk tempatan di pasaran antarabangsa (Lim & Tan, 2021).

Inovasi ini membawa implikasi positif terhadap pembangunan industri kecil, pendidikan TVET dan pemeliharaan alam sekitar. Pertama, ia membuktikan bahawa penglibatan pelajar dalam projek sebenar dapat menghasilkan penyelesaian berasaskan masalah sebenar industri. Kedua, ia membuka potensi penyelidikan lanjut dalam penambahbaikan reka bentuk dan aplikasi teknologi hijau dalam pengeluaran arang. Ketiga, ia memberi inspirasi kepada syarikat kecil lain untuk melaksanakan transformasi teknologi. Akhir sekali, ia mewujudkan peluang untuk pendaftaran paten dan pengkomersialan produk inovasi tempatan, yang masih kurang dalam kalangan inovator Malaysia (Yusoff, Ismail, & Rahman, 2022).

Berdasarkan keputusan kajian, beberapa cadangan signifikan dicadangkan untuk memperkukuh impak inovasi ini. Pertama, kajian lanjutan perlu dilakukan terhadap kesan alam sekitar sewaktu pengeluaran menggunakan indikator seperti Keperluan Oksigen Biologi (Biochemical Oxygen Demand [BOD]), Keperluan Oksigen Kimia (Chemical Oxygen

Demand [COD]) dan Jumlah Pepejal Terampai (Total Suspended Solids [TSS]) dalam air sisa, bagi memastikan proses ini tidak mencemarkan sumber air dan sejajar dengan matlamat pembangunan lestari (ExcelingTech, 2017). Penilaian impak alam sekitar bukan sahaja penting untuk kelulusan perundangan, tetapi juga memberikan kelebihan daya saing kepada pengusaha dalam pasaran eksport yang semakin ketat terhadap isu alam sekitar (Lim & Tan, 2021).

Kedua, hasil inovasi mesin vibrator ini wajar dipatenkan untuk melindungi hak harta intelek tempatan dan membolehkan pengkomersialan skala besar dijalankan secara sah serta terancang. Kajian oleh Yusoff, Ismail, dan Rahman (2022) menunjukkan bahawa usaha pematenan dalam kalangan inovator tempatan masih rendah akibat kekangan maklumat dan sokongan teknikal, justeru penglibatan institusi TVET dalam proses ini dapat membuka ruang kepada lebih banyak produk inovasi berasaskan industri kecil.

Ketiga, pendekatan pembelajaran berasaskan projek (Project-Based Learning [PBL]) dalam pembangunan mesin ini perlu diteruskan di institusi TVET sebagai sebahagian daripada kurikulum kejuruteraan dan teknologi. PBL bukan sahaja mengukuhkan kemahiran teknikal pelajar, tetapi juga menggalakkan pemikiran kritikal dan penyelesaian masalah secara holistik dalam konteks sebenar (Thomas, 2000; Mahmud, Yusof, & Roslan, 2021). Dengan melibatkan pelajar dalam projek yang bersifat industri sebenar, potensi untuk menghasilkan graduan yang bersedia memasuki pasaran kerja dapat dipertingkatkan.

Akhir sekali, pelaporan impak mesin ini terhadap peningkatan produktiviti syarikat 3G perlu dibentangkan dalam forum industri atau seminar TVET bagi berkongsi amalan terbaik dan memberi inspirasi kepada pengusaha lain untuk melaksanakan inovasi serupa. Ini secara langsung menyumbang kepada pembangunan kapasiti industri kecil yang mampan dan berteraskan teknologi tempatan.

Rujukan

- Ali, N. M., Hassan, M. F., & Azman, M. N. A. (2019). *The challenges faced by SMEs in biomass-based industries*. Journal of Cleaner Production, 223, 241–251.
- ExcelingTech. (2017). Water pollution and SDG 6: *Implications of industrial wastewater management*. International Journal of Supply Chain Management, 6(1), 15–21.
- Food and Agriculture Organization. (2023). *The state of food and agriculture: Leveraging agricultural waste for energy*. <https://www.fao.org>
- Gea, S., Irvan, I., & Situmeang, H. (2020). *Coconut shell charcoal: Renewable energy source and its environmental potential*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 133, 110122.
- Ikumapayi, O. M., Isa, M. M., & Adamu, I. (2020). *TVET and industrial collaboration: A tool for national development in the era of IR4.0*. Journal of Technical Education and Training, 12(2), 45–53.
- Lim, C. S., & Tan, W. H. (2021). *Sustainable innovation in SMEs: Environmental regulation and market access*. Asian Journal of Business Environment, 11(1), 31–43.
- Mahmud, Z., Yusof, H., & Roslan, S. (2021). *Project-based learning in TVET: Enhancing employability skills among polytechnic students*. Jurnal Pendidikan Malaysia, 46(1), 33–45.
- MDPI. (2020). *Review on biochar production techniques in Southeast Asia*. Sustainability, 12(15), 6120.
- Porawati, I. G. A., & Sugiarta, I. M. (2024). *Application of coconut shell charcoal in the health and beauty industry*. Indonesian Journal of Applied Chemistry, 8(1), 22–28.
- Saputra, R., Yuliana, L., & Hidayat, S. (2021). *Enhancing charcoal productivity through mechanization in micro enterprises*. Journal of Agricultural Engineering, 52(3), 115–123.

- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. The Autodesk Foundation.
- Yusoff, N. M., Ismail, R., & Rahman, N. A. (2022). *Patent culture among Malaysian innovators: Barriers and opportunities*. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 11(2), 50–63.