

Analisis Kecekapan Aktiviti Penyelidikan dan Pembangunan (R&D) dalam Sektor Tenaga Boleh Diperbaharui di Malaysia

(Efficiency Analysis of Research and Development [R&D] Activity within Renewable Energy Sector in Malaysia)

Fairuz Suzana Mohd Chachuli^{a*}, Sohif Mat^a, Norasikin Ahmad Ludin^{**}, Azami Zaharim^b

^aInstitut Penyelidikan Tenaga Suria (SERI),

^bFakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,

Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia

*Corresponding author: *p91330@siswa.ukm.edu.my; **sheekeen@ukm.edu.my

Received 12 March 2019, Received in revised form 18 November 2019

Accepted 30 December 2019, Available online 28 February 2020

ABSTRACT

Research and development (R&D) activities in the renewable energy sector are one of the key elements under the National Renewable Energy Action Plan (NREPAP). However, renewable energy R&D activities are not considered as one of the key components of the country's R&D program and it needs to compete with other fields to get the research funding. Although the renewable energy R&D fund received is relatively low, the output from the renewable energy R&D activities in Malaysia is seen as encouraging especially on the research publication, patent, and development of human capital. This means that the R&D activities undertaken contribute indirectly to the development of renewable energy in Malaysia. The purpose of this study was to evaluate the performance of R&D activities in Malaysia based on five renewable energy sources, namely solar; wind, biomass, biogas, and mini hydro using the data envelopment analysis (DEA) approach from 2012 to 2017. This study used an output-oriented Charnes, Cooper, Rhodes (CCR)-DEA model with the ratio of one output and four inputs. The result of this study indicates that biomass is the most efficient renewable energy resource, while the wind is the least efficient renewable energy source from the perspective of R&D activities in Malaysia. The overall performance of renewable energy R&D activities in Malaysia is good with a score of 69.2% in 2012-2017. The results of this study are in line with the Malaysia Government's desire to develop biomass energy resources, as stated in the National Biomass Strategy 2020 initiative. The results of this study can serve as the basis for developing specific policies or strategies to strengthen R&D activities further to support the development of renewable energy in Malaysia.

Keywords: Renewable energy; research and development; data envelopment analysis; efficiency

ABSTRAK

Aktiviti penyelidikan dan pembangunan (R&D) dalam sektor tenaga boleh diperbaharui merupakan salah satu elemen penting dalam Dasar dan Pelan Tindakan Tenaga Boleh Diperbaharui (NREPAP). Walau bagaimanapun, aktiviti R&D tenaga boleh diperbaharui tidak dikategorikan sebagai salah satu kelompok utama dalam program R&D negara dan ia perlu bersaing dengan bidang lain untuk mendapatkan dana penyelidikan. Walaupun dana R&D tenaga boleh diperbaharui yang diterima agak rendah, hasil daripada aktiviti R&D tenaga boleh diperbaharui di Malaysia dilihat sangat menggalakkan terutamanya dari segi penerbitan, penghasilan paten dan juga pembangunan modal insan. Ini bermakna aktiviti R&D yang dijalankan memberi sumbangan secara tidak langsung kepada pembangunan tenaga boleh diperbaharui di Malaysia. Tujuan kajian ini adalah untuk menilai prestasi aktiviti R&D di Malaysia berasaskan lima sumber tenaga boleh diperbaharui, iaitu suria, angin, biojisim, biogas dan hidro mini menggunakan pendekatan analisis penyampulan data (DEA) dari tahun 2012 hingga 2017. Kajian ini menggunakan model Charnes, Cooper, Rhodes (CCR)-DEA berorientasikan output dengan nisbah satu output dan empat input. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa biojisim merupakan sumber tenaga boleh diperbaharui yang paling cekap manakala angin merupakan sumber tenaga boleh diperbaharui yang paling tidak cekap dari perspektif aktiviti R&D di Malaysia. Prestasi keseluruhan kecekapan aktiviti R&D tenaga boleh diperbaharui di Malaysia berada pada tahap baik iaitu mencapai 69.2% dalam tempoh 2012-2017. Hasil kajian ini selari dengan hasrat Kerajaan Malaysia untuk membangunkan sumber tenaga biojisim selaras dengan inisiatif Strategi Biojisim Kebangsaan 2020. Hasil kajian ini boleh dijadikan sebagai asas untuk mewujudkan dasar atau strategi khusus untuk memperkukuhkan lagi aktiviti R&D bagi menyokong pembangunan tenaga boleh diperbaharui di Malaysia.

Kata kunci: Tenaga boleh diperbaharui; Penyelidikan dan pembangunan; analisis penyampulan data; kecekapan

PENGENALAN

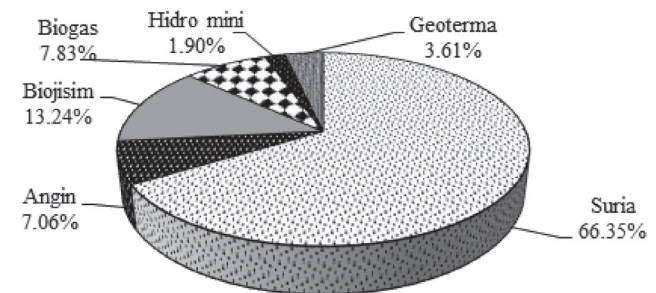
Tenaga boleh diperbaharui dikategorikan sebagai salah satu sumber pemacu perubahan untuk pembangunan ekonomi sesebuah negara. Penggunaan tenaga boleh diperbaharui semakin menjadi pilihan kerana sumber tenaga ini boleh menjamin keselamatan perbekalan tenaga di samping mengurangkan isu perubahan iklim dengan mengurangkan penggunaan bahan bakar fosil (Cherp et al. 2018). Penggunaan bahan api fosil yang berlebihan memberi impak sosial dan persekitaran yang serius, termasuklah pencemaran alam sekitar dan pemanasan global (Maulud et al. 2017).

Malaysia dikurniakan dengan sumber tenaga boleh diperbaharui yang banyak terutamanya tenaga suria, angin, biojisim dan biogas (Mustafa et al. 2019). Sejak tahun 2001, Malaysia telah menumpukan kepada pembangunan tenaga boleh diperbaharui dengan matlamat utama untuk mempelbagaikan sumber tenaga untuk penjanaan elektrik (Mekhilef et al. 2014; Kardooni et al. 2016; Oh et al. 2018; Petinrin & Shaaban, 2015). Walau bagaimanapun, hasil daripada usaha terdahulu tidak berjaya dan kerajaan mendapati bahawa pendekatan tersebut tidak sesuai dan tidak produktif untuk pembangunan lestari. Sehubungan dengan itu, Kerajaan Malaysia telah membangunkan dasar yang lebih berkesan yang dikenali sebagai Dasar dan Pelan Tindakan Tenaga Boleh Diperbaharui (NREPAP) pada tahun 2008 untuk memastikan pembangunan tenaga boleh diperbaharui dapat dirancang secara menyeluruh untuk industri tenaga boleh diperbaharui di Malaysia (KeTTHA 2008). Dasar ini bertujuan untuk meningkatkan penggunaan sumber tenaga boleh diperbaharui dalam campuran penjanaan elektrik dengan sasaran sebanyak 11,227 GWh menjelang tahun 2020 (KeTTHA 2008). Dasar ini juga menekankan kepentingan program penyelidikan dan pembangunan (R&D) yang sistematik dan pembangunan modal insan untuk mempercepat pertumbuhan industri tenaga boleh diperbaharui, sekali gus merangsang keuntungan ekonomi melalui penciptaan produk dan perkhidmatan yang inovatif.

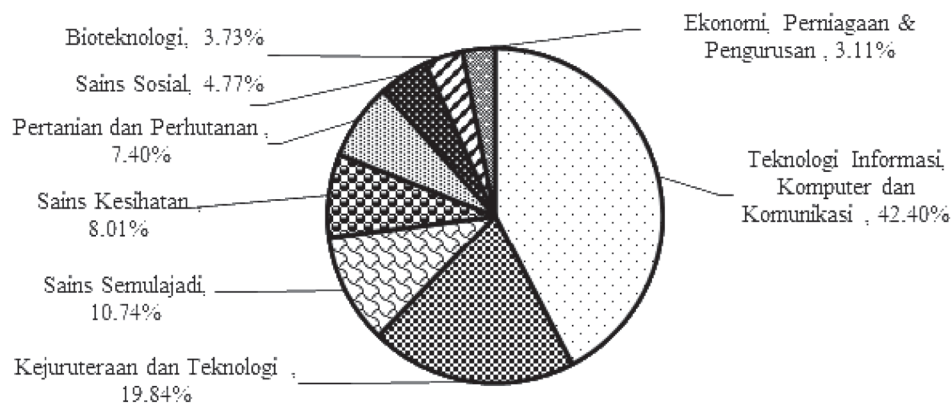
Kerajaan Malaysia juga menyediakan pelbagai insentif dan geran ke arah mendorong industri untuk memulakan

aktiviti R&D, khususnya dalam bidang tenaga boleh diperbaharui. Menurut *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) (2017), R&D boleh ditakrifkan sebagai satu aktiviti untuk meningkatkan pengetahuan manusia, budaya dan sosial serta penciptaan pengetahuan baharu dengan tujuan praktikal tertentu. Berdasarkan laporan “*The National Survey of R&D 2016*” jumlah Perbelanjaan Kasar untuk Penyelidikan dan Pembangunan (GERD) di Malaysia telah meningkat dari RM6,071 juta pada 2008 kepada RM15,058 juta pada 2015 (MOSTI 2017). Program R&D ini merangkumi tiga entiti utama iaitu (i) perusahaan perniagaan, (ii) institusi pengajian tinggi dan (iii) agensi kerajaan dan institut penyelidikan yang meliputi lapan kelompok utama seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.

Di Malaysia, tenaga boleh diperbaharui tidak dikategorikan sebagai salah satu kelompok utama dalam program R&D negara dan ia perlu bersaing dengan bidang lain untuk mendapatkan pembiayaan penyelidikan. Pada tahun 2011-2017, jumlah dana R&D tenaga boleh diperbaharui yang diterima oleh lima universiti penyelidikan hanyalah sebanyak RM5.9 juta, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2. Walaupun dana R&D tenaga boleh diperbaharui yang diterima agak rendah, hasil daripada aktiviti R&D tenaga boleh diperbaharui terutamanya dari institusi pengajian tinggi awam di Malaysia dilihat sangat menggalakkan terutamanya dari segi penerbitan, penghasilan paten dan juga pembangunan modal insan.



RAJAH 2. Pecahan dana R&D MOSTI dalam bidang tenaga boleh diperbaharui untuk lima universiti penyelidikan di Malaysia 2011-2017



RAJAH 1. Taburan pengagihan perbelanjaan R&D di Malaysia pada tahun 2015 (MOSTI 2017)

Kebelakangan ini, isu mengenai kecekapan aktiviti R&D dalam tenaga boleh diperbaharui telah dibangkitkan memandangkan skala pelaburan R&D meningkat setiap tahun (Kim et al. 2015). Di Malaysia juga, kekurangan program R&D asas dan aplikasi dalam beberapa bidang kajian seperti alam sekitar, sumber asli, perubahan iklim dan pengkomersialan teknologi hijau telah menghalang penggunaan dan pertumbuhan hijau termasuklah tenaga boleh diperbaharui (Kementerian Hal Ehwal Ekonomi, 2018). Beberapa faktor yang mengekang aktiviti R&D juga dikenal pasti termasuklah peningkatan kos, dana yang tidak mencukupi, kekurangan kepakaran, infrastruktur fizikal yang tidak mantap dan lambakan produk R&D yang tidak dapat dikomersialkan (KeTTTHA 2008; MOSTI 2017).

Oleh itu, adalah penting bagi pembuat dasar dimaklumkan walaupun teknologi tenaga boleh diperbaharui bukanlah salah satu bidang utama R&D negara, hasil daripada aktiviti R&D yang dijalankan memberi sumbangan secara tidak langsung kepada pembangunan tenaga boleh diperbaharui di Malaysia. Sehubungan dengan itu, penilaian kecekapan aktiviti R&D dalam tenaga boleh diperbaharui perlu dijalankan untuk memberikan hasil yang bermakna kepada pembuat dasar. Tambahan pula, kajian penilaian aktiviti R&D dalam bidang tenaga boleh diperbaharui kurang dijalankan di negara ini terutamanya menggunakan kaedah kuantitatif seperti analisis penyampulan data atau lebih dikenali sebagai *Data Envelopment Analysis* (DEA). Ini menunjukkan kepentingan kajian menggunakan pelbagai indikator ini dijalankan untuk menilai kecekapan aktiviti R&D dalam tenaga boleh diperbaharui di Malaysia.

Kajian ini bertujuan untuk menilai prestasi kecekapan aktiviti R&D dalam sektor tenaga boleh diperbaharui di Malaysia dengan mengambil kira dua teras dasar NREPAP, iaitu memperhebatkan pembangunan modal insan dan meningkatkan R&D dalam pembangunan tenaga boleh diperbaharui menggunakan data empirikal yang terdapat di Malaysia. Kajian ini menggunakan kaedah DEA bagi menunjukkan kepentingan kaedah ini dalam penilaian dasar tenaga boleh diperbaharui di Malaysia.

APLIKASI DEA DALAM KAJIAN KECEKAPAN TENAGA BOLEH DIPERBAHARUI

DEA ialah kaedah bukan parametrik yang digunakan untuk mengukur kecekapan secara kuantitatif, terutamanya kecekapan relatif satu set entiti yang dipanggil Unit Pembuat Keputusan (DMU) (Farrell, 1957). DEA telah banyak digunakan dalam kajian empirikal analisis kecekapan kerana kelebihanannya. Kaedah DEA tidak memerlukan apa-apa anggapan asas mengenai hubungan fungsi di antara input dan output yang dipilih, dan ia boleh digunakan untuk pelbagai jenis sistem dengan unit-unit pemboleh ubah input atau output yang berbeza (Mardani et al. 2017). Sejak tahun 2000, DEA telah diguna pakai sebagai teknik perempadanan utama untuk penanda aras sektor tenaga boleh diperbaharui di kebanyakan negara, dan sejak itu pelbagai kajian telah dihasilkan untuk mengukur prestasi kecekapan tenaga boleh

diperbaharui (Ramanathan, 2001). Kajian-kajian terdahulu juga telah menunjukkan kaedah DEA telah diterima sebagai salah satu kaedah yang popular dalam penilaian kecekapan R&D di kebanyakan negara, kerana penilaian prestasi merupakan satu isu yang kompleks yang memerlukan beberapa kriteria untuk menilai semua DMU secara serentak (Khoshnevis & Teirlinck 2018).

Pada pertengahan tahun 2000, penggunaan DEA mula dipopularkan oleh penyelidik untuk mengkaji analisis kecekapan berkaitan tenaga boleh diperbaharui. Kajian-kajian terdahulu ini boleh dikategorikan kepada dua kumpulan, iaitu analisis kecekapan di peringkat entiti seperti syarikat atau negara dan analisis kecekapan di peringkat teknologi (Kim et al. 2015). Kajian analisis kecekapan di peringkat teknologi merupakan kategori yang paling popular dijalankan. Jha dan Shrestha (2006) menyiasat prestasi loji jana kuasa hidro yang dimiliki oleh *Nepal Electricity Authority* (NEA) semasa tahun kewangan 2001-2004 menggunakan kaedah DEA. Kajian tersebut mendapati purata kecekapan teknikal loji jana kuasa hidro NEA adalah sebanyak 74% dan kecekapan skala sebanyak 71%, manakala kecekapan loji jana kuasa hidro keseluruhan berada pada tahap 50%. Barros (2008) menggunakan kaedah DEA untuk mengukur perubahan produktiviti keseluruhan loji jana kuasa hidro di Portugal pada tahun 2001-2004. Barros (2008) mendapati loji jana kuasa hidro di Portugal menunjukkan peningkatan perubahan teknologi yang lebih tinggi berbanding peningkatan perubahan kecekapan teknikal. Lins et al. (2012) menggunakan kaedah DEA untuk menilai kecekapan sumber tenaga dengan mempertimbangkan beberapa pemboleh ubah berkaitan dasar tenaga, dan mendapati bahawa teknologi yang menggunakan sisa pepejal untuk menjana tenaga sepatutnya diberi keutamaan yang lebih tinggi berbanding sumber tenaga lain. Kim et al. (2015) menilai kecekapan pelaburan teknologi tenaga boleh diperbaharui berdasarkan dua objektif dasar di Korea untuk tahun 2007-2011 menggunakan kaedah DEA. Menggunakan dua input (perbelanjaan R&D dan perbelanjaan penyebaran maklumat) dan tiga output (penjanaan kuasa, paten dan kos unit), Kim et al. (2015) mendapati tenaga angin ialah tenaga boleh diperbaharui yang paling cekap di Korea dalam perspektif pelaburan kerajaan. Kajian oleh Lee (2015) dijalankan untuk menyiasat kecekapan projek R&D tenaga boleh diperbaharui di Korea untuk tempoh 2008-2012. Beliau mendapati kecekapan penyelidikan R&D asas adalah lebih tinggi di universiti dan institusi penyelidikan, manakala penyelidikan R&D gunaan adalah lebih tinggi di firma besar di Korea.

Kajian yang dijalankan oleh Chien dan Hu (2007) adalah kajian pertama untuk mengukur kecekapan teknikal tenaga boleh diperbaharui di peringkat negara. Menggunakan tiga input (tenaga buruh, saham modal dan penggunaan tenaga) dan Keluaran Dalam Negara Kasar (KDNK) sebagai output, Chien dan Hu (2007) mendapati negara OECD mempunyai kecekapan teknikal yang lebih tinggi berbanding negara bukan OECD. Woo et al. (2015) juga menggunakan kaedah DEA untuk mengkaji kecekapan persekitaran tenaga boleh diperbaharui di 31 buah negara untuk tempoh 2004-2011.

Meleddu dan Pulina (2018) mengkaji prestasi perbelanjaan awam dalam sektor tenaga boleh diperbaharui di Itali untuk tempoh 2004-2011 menggunakan kaedah DEA dan Simar–Wilson. Meleddu dan Pulina (2018) mendapati KDNK dan bilangan graduan dalam bidang teknikal dan sains memberi impak yang positif ke atas kecekapan intervensi awam tenaga boleh diperbaharui di Itali. Lyu dan Shi (2018) menyiasat kecekapan kewangan projek tenaga boleh diperbaharui menggunakan data yang diperolehi dari *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) untuk tempoh 2008-2015. Lyu dan Shi (2018) mendapati pembiayaan projek dan pelaburan R&D mempunyai kecekapan kewangan yang lebih tinggi, berbanding stok pasaran, ekuiti swasta dan modal teroka.

Jadual 1 menunjukkan ringkasan kajian-kajian lepas yang berkaitan dengan pengukuran kecekapan tenaga boleh diperbaharui menggunakan kaedah DEA.

METODOLOGI

MODEL DEA

Sejak pembentangan kertas kerja seminar oleh Charnes et al. (1978), banyak kajian telah dijalankan menggunakan kaedah DEA terutamanya dalam penyelidikan operasi dan sains pengurusan oleh penyelidik, ahli ekonomi dan pakar dalam pelbagai bidang termasuklah tenaga dan alam sekitar (Zhou et al. 2018). DEA ialah teknik yang mantap yang digunakan untuk mengukur dan membandingkan kecekapan DMU dengan pelbagai input dan output menggunakan pengaturcaraan matematik. Berdasarkan konsep kecekapan dalam ekonomi, kecekapan DMU, dikenali sebagai DMU_0 ($0 = 1, 2, \dots, n$), boleh dikira sebagai nisbah jumlah output kepada jumlah input.

JADUAL 1. Ringkasan kajian lepas berkaitan penggunaan DEA dalam tenaga boleh diperbaharui

Skop	Tahun kajian	Input	Output	Rujukan
Loji jana kuasa hidro	2001-2004	Kapasiti terpasang loji Jumlah perbelanjaan operasi dan penyenggaraan Jumlah pekerja	Penjanaan tenaga Kapasiti puncak musim sejuk Kapasiti puncak musim panas	Jha dan Shrestha (2006)
Tenaga boleh diperbaharui		Tenaga buruh Saham modal Penggunaan tenaga	KDNK	Chien dan Hu (2007)
Loji jana kuasa hidro	2001-2004	Bilangan pekerja Modal Kos operasi Pelaburan	Penjanaan tenaga Penggunaan modal	Barros dan Antunes (2011)
Tenaga alternatif	2008	Pembebasan gas rumah hijau Potensi peluang pekerjaan Potensi penjanaan tenaga	Kos operasi dan penyenggaraan Kos pelaburan	Lins et al. (2012)
Tenaga boleh diperbaharui	2007-2011	Perbelanjaan R&D Perbelanjaan penyebaran maklumat	Kuasa dijana Paten Kos unit	Kim et al. (2015)
Tenaga boleh diperbaharui	2008-2012	Peruntukan R&D awam dan swasta Bilangan pekerja	Penerbitan Paten Laporan Pengkomersialan Bilangan pelajar menerima yuran kejuruteraan	Lee (2015)
Tenaga boleh diperbaharui	2004-2011	Jumlah buruh Jumlah modal Bekalan tenaga boleh diperbaharui	KDNK Pembebasan karbon Penjanaan tenaga boleh diperbaharui	Woo et al. (2015)
Tenaga boleh diperbaharui	2004-2011	Perbelanjaan R&D Perbelanjaan lain Perbelanjaan perlindungan sinaran Penggunaan elektrik	Kuasa solar PV Penjanaan kuasa	Meleddu dan Pulina (2018)
Tenaga boleh diperbaharui	2008-2015	Pelaburan R&D Stok market Pembiayaan projek Ekuiti swasta Modal teroka	Penjanaan tenaga boleh diperbaharui	Lyu dan Shi (2018)

Apabila terdapat banyak input dan output digunakan, jumlah keseluruhan kecekapan boleh ditafsirkan sebagai jumlah wajaran keseluruhan output atau input (Mardani et al. 2017), seperti berikut:

$$\text{Kecekapan, } E = \frac{\text{Jumlah wajaran output}}{\text{Jumlah wajaran input}} \quad (1)$$

Charnes et al. (1978) memperkenalkan model pengoptimuman yang melibatkan setiap DMU mencari nilai berat optimum setiap input dan output untuk memaksimumkan kecekapannya sendiri. Ini ditakrifkan sebagai nisbah jumlah hasil berwajaran output kepada input, dengan kecekapan semua DMU lain tidak lebih daripada nilai tertentu, misalnya satu. Model ini dipanggil model Charnes, Cooper, Rhodes (CCR) dan dinyatakan dalam bentuk matematik seperti berikut (Charnes et al. 1978):

$$\text{Max } \theta_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}$$

$$\text{tertakluk kepada } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0 \text{ untuk semua } r \text{ dan } i \quad (2)$$

Persamaan matematik tersebut boleh ditukar secara bersamaan ke dalam model pengaturcaraan linear seperti berikut (Cooper et al. 2007):

$$\text{Max } \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}$$

$$\text{tertakluk kepada } \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0 \text{ untuk semua } r \text{ dan } i \quad (3)$$

Menggunakan model pengaturcaraan linear tersebut, skor kecekapan DMU₁ hingga DMU_n boleh diperoleh dengan menyelesaikan n model tersebut. Nilai optimum fungsi objektif (3) adalah untuk mengukur kecekapan teknikal. Ketidakecekapan teknikal terhasil daripada perbezaan di antara jumlah input yang sebenarnya digunakan dengan

input minimum digunakan untuk menghasilkan jumlah output tertentu.

Kajian ini mengukur skor kecekapan DEA menggunakan model CCR-DEA berorientasikan output untuk memaksimumkan tahap output pada tahap input yang diberikan. Analisis ini dijalankan menggunakan perisian DEAP versi 2.1 yang dibangunkan oleh Coelli (1996).

MODEL SISTEM R&D TENAGA BOLEH DIPERBAHARUI DI MALAYSIA

Untuk menganalisis prestasi kecekapan R&D lima sumber tenaga boleh diperbaharui di Malaysia, satu model sistem haruslah dibangunkan secara sistematik. Model sistem ini dibangunkan dengan mengambil kira dua teras NREPAP, iaitu (i) memperhebatkan pembangunan modal insan dan (ii) meningkatkan R&D untuk menyokong penggunaan tenaga boleh diperbaharui di Malaysia (KETHA 2008). Di Malaysia, tenaga boleh diperbaharui dianggap sebagai teknologi baharu dan pembangunan modal insan adalah keperluan mendesak untuk menyokong kejayaan pembangunan teknologi tenaga boleh diperbaharui. Program R&D yang sistematik juga penting untuk memastikan pembangunan produk dan perkhidmatan yang inovatif boleh mempercepatkan pertumbuhan industri tenaga boleh diperbaharui di Malaysia. Inovasi yang dihasilkan daripada paten sebagai output program R&D juga dapat meningkatkan penyebaran tenaga boleh diperbaharui dengan memfokuskan kepada peningkatan kecekapan dan mengurangkan halangan ekonomi terhadap penggunaan teknologi tersebut. Dengan mengambil kira kedua-dua teras dasar ini, kajian mencadangkan model sistem R&D dalam tenaga boleh diperbaharui yang terdiri daripada input, proses dan output, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.

PENGUMPULAN DATA

Sumber data yang digunakan untuk mengukur kecekapan aktiviti R&D dalam tenaga boleh diperbaharui dari tahun 2012 hingga 2017 adalah seperti dalam Jadual 2. Data mengenai jumlah artikel yang diterbitkan dan bilangan siswazah di peringkat sarjana dan doktor falsafah yang berkaitan dengan tenaga boleh diperbaharui dikumpulkan dari 13 buah universiti tempatan di Malaysia yang



RAJAH 3. Model sistem R&D tenaga boleh diperbaharui

JADUAL 2. Sumber data.

	Data	Unit	Sumber data
Input	(i) Penerbitan, x_1	Bilangan artikel	<i>Directory of Institutional Repositories in Malaysia</i> (University of Malaya Library 2018)
	(ii) Modal insan, x_2	Bilangan graduan	<i>Directory of Institutional Repositories in Malaysia</i> (University of Malaya Library 2018)
	(iii) Paten, x_3	Bilangan paten	MyIPO (MyIPO 2018)
	(iv) Harga elektrik, x_4	RM/kWh	SEDA (SEDA 2018)
Output	(i) Kapasiti terpasang, y_1	MW	SEDA (SEDA 2018).

diakses melalui pangkalan data “Directory of Institutional Repositories in Malaysia” (University of Malaya Library, 2018). Data bilangan paten tenaga boleh diperbaharui yang dihasilkan di Malaysia dikumpulkan dari pangkalan data rasmi Perbadanan Harta Intelek Malaysia (MyIPO 2018). Apabila paten melibatkan hibrid antara dua jenis teknologi, contohnya hibrid di antara suria dan angin, nilai 0.5 akan diberikan bagi setiap sumber tenaga boleh diperbaharui untuk menggambarkan sumbangan sebenar setiap teknologi tenaga boleh diperbaharui. Kaedah ini juga terpakai untuk penerbitan dan bilangan graduan dalam tenaga boleh diperbaharui. Harga elektrik yang dijana oleh tenaga boleh diperbaharui dan kapasiti terpasang tenaga boleh diperbaharui dikumpul dari pangkalan data Pihak Berkuasa Pembangunan Tenaga Lestari (SEDA) Malaysia berdasarkan statistik Tarif Galakan (FiT) (SEDA 2018).

Berdasarkan pemilihan pemboleh ubah input dan output tersebut, kecekapan teknikal, E , untuk aktiviti R&D dalam tenaga boleh diperbaharui dikira melalui persamaan berikut:

$$\text{Kecekapan, } E = \frac{u_p y_1}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + v_3 x_3 + v_4 x_4} \quad (4)$$

dengan y_1 mewakili kapasiti terpasang tenaga boleh diperbaharui, x_1 ialah input penerbitan, x_2 ialah input modal insan, x_3 ialah bilangan paten dan x_4 ialah harga elektrik. Manakala u dan v mewakili pemberat bagi setiap pemboleh ubah untuk pengiraan kecekapan.

Dalam kajian ini, lima sumber tenaga boleh diperbaharui, iaitu suria PV, angin, biojisim, biogas dan hidro mini dipilih sebagai DMU dalam analisis. Dalam kajian ini juga, tenaga angin diambil kira memandangkan output R&D dalam bidang ini dianggap tinggi walaupun tiada kapasiti terpasang yang dicatatkan oleh tenaga angin di Malaysia. Sumber-sumber lain seperti geoterma, lautan, air pasang dan gelombang tidak dipertimbangkan dalam kajian ini kerana aktiviti R&D yang terhad dan tidak ada kapasiti terpasang direkodkan. Berikutan hal ini, nilai minimum untuk tenaga angin perlu dikenal pasti untuk menilai secara menyeluruh kecekapan aktiviti R&D dalam tenaga boleh diperbaharui di Malaysia. Oleh itu, kajian ini mengandaikan kapasiti terpasang tenaga angin dicatatkan pada 0.06 MW pada turbin angin berskala kecil dengan kapasiti permulaan 60 kW dari tahun 2012 dengan kos unit sebanyak RM1.1313/kWh berdasarkan kajian

oleh Albani dan Ibrahim (2017). Kajian ini menimbangkan tempoh dari tahun 2012 hingga 2017, selepas program Tarif Galakan diperkenalkan di Malaysia. Dalam kajian ini, setiap sumber tenaga boleh diperbaharui dalam setiap tahun dianggap sebagai DMU individu untuk analisis DEA. Kecekapan setiap sumber tenaga boleh diperbaharui dalam setiap tahun diandaikan akan berbeza walaupun sumber tenaga boleh diperbaharui adalah sama kerana nilai data untuk setiap tahun adalah berbeza dan ia boleh digunakan sebagai asas untuk menganalisis setiap sumber tenaga boleh diperbaharui secara bebas dan membandingkan keputusan antara satu sama lain.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

ANALISIS SKOR KECEKAPAN AKTIVITI R&D TENAGA BOLEH DIPERBAHARUI

Skor kecekapan setiap sumber tenaga boleh diperbaharui dinilai menggunakan model CCR-DEA berorientasikan output yang dibangunkan oleh Charnes et al. (1978). Kajian ini dijalankan menggunakan perisian DEAP versi 2.1 yang dibangunkan oleh Coelli (1996). Model berorientasikan output digunakan untuk memaksimumkan tahap output berdasarkan tahap input yang diberikan. Model ini sesuai digunakan kerana DMU yang berkaitan mempunyai tahap kawalan yang lebih tinggi terhadap pemboleh ubah output berbanding pemboleh ubah input dalam jangka masa pendek. Keputusan skor kecekapan setiap sumber tenaga boleh diperbaharui tahun 2012-2017 adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.

Tenaga suria menunjukkan berlakunya peningkatan skor kecekapan aktiviti R&D bermula dari tahun 2012 hingga 2016. Sebanyak dua DMU tenaga suria iaitu PV16 dan PV17 dikategorikan sebagai paling cekap apabila mencapai skor kecekapan 1.000. Peningkatan skor kecekapan ini berlaku apabila hasil output daripada aktiviti R&D tenaga suria meningkat setiap tahun, terutamanya bilangan penerbitan, paten dan graduan selari dengan peningkatan pembangunan tenaga suria di Malaysia (Gomesh et al. 2013). PV12 merekodkan pencapaian skor kecekapan yang paling rendah kerana pada ketika ini, kapasiti terpasang tenaga suria masih rendah dan industri pembangunan teknologi ini dilihat masih baharu di Malaysia (Jayaraman et al. 2017).

Tenaga biojisim menunjukkan pencapaian skor yang tinggi bagi setiap DMU. BM12 dan BM16 memperoleh skor kecekapan sebanyak 1.000, manakala DMU yang lain memperoleh skor kecekapan 0.836 hingga 0.967. Hal ini demikian kerana hasil aktiviti R&D yang dikeluarkan adalah berpadanan dengan jumlah kapasiti terpasang kuasa elektrik yang terhasil dari sumber biojisim. Sumber biojisim yang banyak dan mudah didapati terutamanya sisa kelapa sawit telah menjadikan biojisim sebagai sumber tenaga boleh diperbaharui yang paling tinggi digunakan untuk menjana kuasa elektrik (SEDA 2017). Di samping itu, menurut Ahmad dan Shamsudin (2010), sumber biojisim dijadikan sebagai salah satu aktiviti R&D yang paling diminati oleh penyelidik-penyelidik di universiti awam di Malaysia.

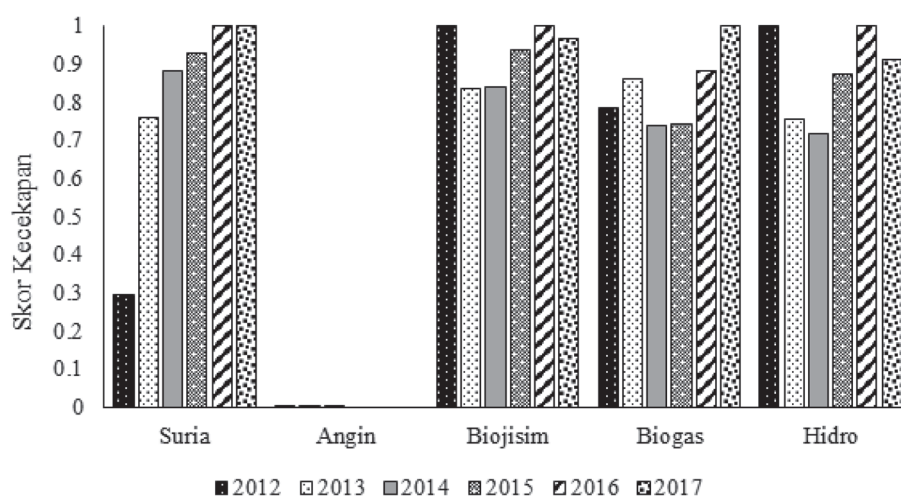
Tenaga biogas dan hidro mini juga mencapai skor kecekapan yang tinggi sepanjang tahun 2012-2016. BG17, HY12 dan HY16 adalah di antara DMU yang mencapai skor kecekapan 1.000 untuk sumber tenaga biogas dan hidro mini. Trend skor kecekapan yang tidak sekata dapat dilihat dalam tenaga biogas dan hidro mini disebabkan oleh hasil aktiviti R&D dan kapasiti terpasang yang tidak menentu. Walaupun hasil aktiviti R&D untuk biogas dan hidro mini adalah lebih rendah berbanding hasil aktiviti R&D untuk tenaga suria dan biojisim, jumlah ini berpadanan dengan pencapaian kapasiti terpasang yang juga rendah bagi kedua-dua sumber tenaga tersebut (SEDA 2017). Hal ini demikian kerana sumber biogas dan hidro mini yang terdapat di Malaysia adalah terbatas, dan telah menyebabkan aktiviti R&D kurang dijalankan, serta penjanaan elektrik dari kedua-dua sumber ini juga rendah berbanding tenaga suria dan biojisim. Walaupun begitu, jumlah wajaran input dan output yang berpadanan bagi kedua-dua sumber tenaga ini telah menjadikan purata skor kecekapan bagi biogas dan hidro mini lebih tinggi berbanding dengan tenaga suria.

Tenaga angin merupakan sumber tenaga yang paling tidak cekap dari perspektif R&D di Malaysia dengan julat skor kecekapan bagi semua DMU tenaga angin di antara 0 hingga 0.002. Skor kecekapan yang sangat rendah ini terjadi apabila nilai output tidak berpadanan dengan nilai input yang

digunakan. Secara realitinya, nilai output yang diwakili oleh kapasiti terpasang tenaga angin adalah sangat rendah pada 0.06 MW berbanding sumber tenaga boleh diperbaharui yang lain seperti biogas dan hidro mini. Walau bagaimanapun, hasil aktiviti R&D yang dijalankan dalam tenaga angin, seperti bilangan paten, penerbitan dan graduan, yang dijadikan sebagai input adalah tinggi berbanding dengan sumber tenaga boleh diperbaharui yang lain seperti biogas dan hidro mini. Hal ini demikian kerana walaupun pelbagai aktiviti R&D dijalankan oleh institusi pengajian tinggi awam, masih tiada pencapaian kapasiti terpasang direkodkan. Punca utama kegagalan pembangunan tenaga angin di Malaysia adalah disebabkan oleh masalah kelajuan angin yang terlalu rendah yang tidak mampu untuk menjana kuasa elektrik (Azman et al. 2011). Walau bagaimanapun, aktiviti R&D di Malaysia telah menumpukan isu ini, termasuklah penerokaan sumber angin pesisir pantai kerana sumber angin yang lebih kuat berbanding di kawasan darat (Mekhilef et al. 2012; Albani & Ibrahim 2017).

ANALISIS PENANDA ARAS KETIDAKCEKAPAN

Set rujukan digunakan untuk menanda aras set DMU yang tidak cekap terhadap set DMU cekap yang mencapai skor 1.000. Jadual 3 menunjukkan nilai skor kecekapan 30 DMU dan set rujukan yang dijadikan sebagai penanda aras berdasarkan keputusan yang diperoleh menggunakan model CCR-DEA. Skor kecekapan 1.000 menunjukkan DMU adalah cekap manakala skor kecekapan kurang dari 1.000 menunjukkan DMU tidak cekap secara relatif. Kesemua tujuh DMU yang mencapai skor kecekapan 1.000 telah dijadikan sebagai penanda aras untuk DMU yang tidak cekap. Tenaga suria PV pada tahun 2016 (PV16) dan 2017 (PV17), biojisim pada tahun 2012 (BM12) dan 2016 (BM16), biogas pada tahun 2017 (BG17) dan hidro mini pada tahun 2012 (HY12) dan 2016 (HY16) merupakan DMU yang paling cekap berbanding 30 DMU yang dinilai sepanjang tempoh kajian. Kesemua DMU yang cekap ini menanda aras dengan DMU masing-masing.



RAJAH 4. Keputusan skor kecekapan tenaga boleh diperbaharui dari model CCR-DEA

Secara keseluruhannya, BG17 merupakan DMU yang paling banyak dijadikan sebagai rujukan oleh DMU yang tidak cekap iaitu sebanyak 20 kali, diikuti dengan HY12 sebanyak 16 kali dan BM12 sebanyak 12 kali. Manakala PV16 dijadikan sebagai rujukan sebanyak 6 kali dan HY16 sebanyak 4 kali. PV17 dan BM16 hanya dirujuk sebanyak 1 kali sahaja.

Purata keseluruhan nilai kecekapan tenaga boleh diperbaharui di Malaysia ialah 0.692. Ini bermakna prestasi kecekapan aktiviti R&D tenaga boleh diperbaharui di Malaysia berada pada tahap baik iaitu 69.2% dalam tempoh 2012-2017.

JADUAL 3. Keputusan model CCR-DEA

DMU	Skor kecekapan	Kedudukan	Set rujukan
PV12	0.297	24	HY12, BM12, BG17
PV13	0.763	19	PV16, BG17, BM12
PV14	0.883	13	BG17, BM12, PV16
PV15	0.932	10	PV16, BG17, BM12
PV16	1.000	1	PV16
PV17	1.000	1	PV17
WI12	0.002	25	HY12, BG17
WI13	0.001	26	HY12, BG17
WI14	0.001	27	BG17, HY12
WI15	0.000	28	HY12, BM12, BG17
WI16	0.000	29	HY12, BM12, BG17
WI17	0.000	30	HY12, BG17, BM12
BM12	1.000	1	BM12
BM13	0.836	17	BG17, PV16, BM12
BM14	0.843	16	BM12, PV16, BG17
BM15	0.938	9	BM12, PV16, BG17
BM16	1.000	1	BM16
BM17	0.967	8	BM16, PV17
BG12	0.787	18	HY12, BG17
BG13	0.864	15	HY12, BG17
BG14	0.739	22	HY12, BG17
BG15	0.746	21	HY12, BG17
BG16	0.884	12	HY12, BG17
BG17	1.000	1	BG17
HY12	1.000	1	HY12
HY13	0.755	20	HY16, HY12, BM12, BG17
HY14	0.718	23	HY12, HY16
HY15	0.876	14	HY12, HY16
HY16	1.000	1	HY16
HY17	0.913	11	HY16, HY12, BG17, BM12

ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF

Memandangkan hasil awal skor kecekapan yang diperolehi dari analisis DEA yang pelbagai, analisis lanjutan menggunakan kaedah statistik perlu dijalankan dengan lebih teliti sebelum kajian ini dapat menentukan sumber tenaga boleh diperbaharui yang manakah yang paling cekap dari perspektif aktiviti R&D di Malaysia. Analisis statistik deskriptif ini dijalankan berdasarkan kajian yang pernah dijalankan oleh Kim et al. (2015) bagi menentukan sumber tenaga boleh diperbaharui yang manakah paling cekap berdasarkan skor kecekapan yang diperolehi dari analisis DEA.

Jadual 4 menunjukkan keputusan analisis lanjutan setiap sumber tenaga boleh diperbaharui berdasarkan keputusan skor kecekapan yang diperolehi dari model CCR-DEA. Sumber tenaga biojisim memperoleh purata kecekapan yang paling tinggi iaitu 0.931, diikuti oleh hidro mini sebanyak 0.877. Sumber tenaga biogas pula memperoleh nilai purata kecekapan sebanyak 0.837 manakala tenaga suria sebanyak 0.813. Tenaga angin memperoleh kecekapan yang paling rendah iaitu 0.001 disebabkan oleh faktor kapasiti terpasang yang paling sedikit berbanding sumber tenaga boleh diperbaharui yang lain. Sehubungan dengan itu, berdasarkan nilai purata sepanjang tempoh enam tahun, biojisim merupakan sumber tenaga boleh diperbaharui yang paling cekap dari perspektif aktiviti R&D di Malaysia.

Hasil dapatan ini didapati berbeza dengan hasil kajian yang dijalankan oleh Kim et al. (2015). Kajian tersebut mendapati bahawa tenaga angin adalah tenaga boleh diperbaharui yang paling cekap di Korea dalam perspektif pelaburan kerajaan berbanding tenaga suria PV dan sel fuel. Perbezaan ini berlaku berdasarkan pemilihan input dan output kajian yang berbeza. Kim et al. (2015) menggunakan dua input (perbelanjaan R&D dan perbelanjaan penyebaran maklumat) dan tiga output (kuasa dijana, paten dan kos unit elektrik). Manakala kajian ini menggunakan empat input (paten, penerbitan, graduan dan kos unit elektrik) dan satu output (penjanaan tenaga). Walaupun kedua-dua kajian ini melihat dari perspektif yang sama iaitu kecekapan R&D, penggunaan data adalah berbeza disebabkan kebolehsediaan data yang ada pada sesebuah negara. Tambahan pula ciri-ciri yang ada pada sesebuah negara termasuk pelaksanaan dasar dan sokongan kerajaan menjadikan motivasi kepada perlunya kajian ini dijalankan.

JADUAL 4. Statistik deskriptif skor kecekapan sumber tenaga boleh diperbaharui

	Suria	Angin	Biojisim	Biogas	Mini hidro
Purata	0.813	0.001	0.931	0.837	0.877
Sisihan Piawai	0.267	0.001	0.074	0.100	0.120
Minimum	0.297	0.000	0.836	0.739	0.718
Maksimum	1.000	0.002	1.000	1.000	1.000

POTENSI PEMBANGUNAN R&D BIOJISIM DI MALAYSIA

Biojisim ialah sumber tenaga boleh diperbaharui yang menyumbang paling tinggi kepada pembangunan tenaga boleh diperbaharui di Malaysia. Sumber biojisim yang mudah didapati terutamanya dari sisa kelapa sawit telah menarik ramai penyelidik untuk menjalankan aktiviti R&D dalam bidang ini dengan lebih aktif. Berdasarkan kajian yang dijalankan oleh MPOB pada tahun 2008, sebanyak 1,340 MW kapasiti maksimum dianggarkan boleh dicapai dari sumber tenaga biojisim menjelang 2030 (KeTTHA 2008). Inisiatif Strategi Biojisim Kebangsaan 2020 (National Biomass Strategy 2020) yang dilancarkan pada tahun

2011 juga telah membuka banyak peluang kepada industri, akademik dan institusi penyelidikan untuk membangunkan sumber biojisim terutamanya industri minyak sawit (Agensi Inovasi Malaysia 2013).

Di samping itu, kerajaan telah merancang banyak insentif untuk projek tenaga berasaskan biojisim sebagai sebahagian daripada program teknologi hijau. Disebabkan kelebihan ini, tenaga biojisim memberikan banyak potensi untuk aktiviti R&D pada masa hadapan dan boleh merangsang keuntungan ekonomi bagi sektor tenaga di negara ini. Kajian yang dijalankan oleh Azman et al. (2011) juga mendapati penjana tenaga dari sumber biojisim mempunyai potensi yang paling menggalakkan untuk dibangunkan di Malaysia dengan membandingkan beberapa faktor penyumbang iaitu tindakan dan dasar, pengagihan geografi, teknologi yang terlibat dan analisis ekonomi.

KESIMPULAN

Kajian ini dijalankan untuk mengukur kecekapan lima sumber tenaga boleh diperbaharui iaitu suria PV, angin, biojisim, biogas dan hidro mini dari perspektif aktiviti R&D terhadap pembangunan tenaga boleh diperbaharui di Malaysia. Kajian ini menggunakan data empirikal yang terdapat di Malaysia bagi tahun 2012-2017. Hasil kajian mendapati bahawa tujuh DMU dikategorikan sebagai cepak dengan skor kecekapan 1.000 berbanding 30 DMU yang dianalisis. Ini termasuklah suria PV pada tahun 2016 dan 2017, biojisim pada tahun 2012 dan 2016, biogas pada tahun 2017 dan hidro mini pada tahun 2012 dan 2016. Prestasi kecekapan keseluruhan aktiviti R&D tenaga boleh diperbaharui di Malaysia berada pada tahap baik iaitu mencapai 69.2% dalam tempoh 2012-2017. Analisis statistik selanjutnya juga menunjukkan bahawa sumber tenaga biojisim merupakan sumber tenaga boleh diperbaharui yang paling cekap, manakala tenaga angin merupakan sumber tenaga boleh diperbaharui yang paling tidak cekap dari perspektif aktiviti R&D di Malaysia.

Secara keseluruhannya, hasil daripada kajian ini selari dengan hasrat kerajaan untuk membangunkan sumber tenaga biojisim negara terutamanya yang terhasil daripada sisa hasil kelapa sawit melalui pelaksanaan inisiatif Strategi Biojisim Kebangsaan 2020 di Malaysia. Hasil kajian ini menunjukkan kepentingan pendekatan DEA sebagai salah satu alat statistik yang boleh digunakan untuk menilai keberkesanan dasar tenaga boleh diperbaharui dan mampu menyediakan maklumat yang penting kepada pembuat keputusan di Malaysia. Di samping itu juga, hasil kajian ini boleh dijadikan sebagai asas untuk mewujudkan dasar atau strategi khusus untuk memperkukuhkan lagi aktiviti R&D bagi menyokong pembangunan tenaga boleh diperbaharui di Malaysia.

Walau bagaimanapun, kajian ini adalah terhad kerana tidak mengambil kira beberapa faktor penting dalam kecekapan teknologi tenaga seperti pelepasan CO₂ atas sebab-sebab tertentu. Oleh itu, kajian lanjutan boleh

dijalankan pada masa hadapan untuk menyiasat peranan faktor-faktor penting yang lain dan kesannya terhadap alam sekitar dalam bidang tenaga boleh diperbaharui.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan ucapan setinggi penghargaan kepada Jabatan Perkhidmatan Awam, Universiti Kebangsaan Malaysia (GUP-2018-127), Kementerian Pengajian Tinggi (FRGS/1/2018/SS08/UKM/02/4), dan MESTECC atas bantuan kewangan dan sokongan kepada projek ini. Ucapan penghargaan juga ditujukan kepada RESTED 2018 selaku penganjur persidangan atas penerbitan artikel ini.

RUJUKAN

- Agensi Inovasi Malaysia. 2013. National Biomass Strategy 2020: New Wealth Creation for Malaysia's Biomass Industry.
- Ahmad, B., & Shamsudin, A. H. 2010. The Potential of Biomass in Malaysia as a Fuel For Electricity Generation. Slide.
- Albani, A. & Ibrahim, M. Z. 2017. Wind Energy Potential and Power Law Indexes Assessment for Selected Near-Coastal Sites in Malaysia. *Energies* 10 (307): 1-21.
- Azman, A. Y., Rahman, A. A., Bakar, N. A., Hanaffi, F., & Khamis, A. 2011. Study of Renewable Energy Potential in Malaysia. *IEEE 1st Conference on Clean Energy and Technology*, 170-76.
- Barros, C. P. 2008. Efficiency Analysis of Hydroelectric Generating Plants: A Case Study for Portugal. *Energy Economics* 30 (1): 59-75.
- Barros, C. P. & Antunes, O. S. 2011. Performance Assessment of Portuguese Wind Farms: Ownership and Managerial Efficiency. *Energy Policy* 39 (6): 3055-63.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. 1978. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research* 2 (6): 429-44.
- Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Brutschin, E. & Sovacool, B. 2018. Integrating Techno-Economic, Socio-Technical and Political Perspectives on National Energy Transitions: A Meta-Theoretical Framework. *Energy Research and Social Science* 37.
- Chien, T. & Hu, J. L. 2007. Renewable Energy and Macroeconomic Efficiency of OECD and Non-OECD Economies. *Energy Policy* 35 (7): 3606-15.
- Coelli, T. J. 1996. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. CEPA Working Papers. United Kingdom: The University of New England.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. & Tone, K. 2007. Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software Second Edition. Handbook on Data Envelopment Analysis, Second Edition. Vol. 164. Springer.
- Farrell, M. J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 120 (3): 253-90.

- Gomesh, N., Daut, I., Irwanto, M., Irwan, Y. M. & Fitra, M. 2013. Study on Malaysian's Perspective towards Renewable Energy Mainly on Solar Energy. *Energy Procedia* 36: 303-12.
- Intellectual Property Corporation of Malaysia. 2018. Patent, Trade Mark, Industrial Design & Geographical Indication. 2018. <http://onlineip.myipo.gov.my>.
- Jayaraman, K., Paramasivan, L. & Kiumarsi, S. 2017. Reasons for Low Penetration on the Purchase of Photovoltaic (PV) Panel System among Malaysian Landed Property Owners. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80: 562-571.
- Jha, D. K. & Shrestha, R. 2006. Measuring Efficiency of Hydropower Plants in Nepal Using Data Envelopment Analysis. *IEEE Transactions on Power Systems* 21 (4): 1502-11.
- Kardooni, R., Yusoff, S. & Kari, F. 2016. Renewable Energy Technology Acceptance in Peninsular Malaysia. *Energy Policy* 88: 1-10.
- Kementerian Hal Ehwal Ekonomi. 2018. *Kajian Separuh Penggal Rancangan Malaysia Kesebelas 2016-2020: Keutamaan Dan Penekanan Baharu*. Putrajaya, Malaysia: Kementerian Hal Ehwal Ekonomi. <http://www.epu.gov.my>.
- KeTTHA. 2008. *National Renewable Energy Policy and Action Plan*. Putrajaya, Malaysia: Ministry of Energy Green Technology and Water (KeTTHA), Malaysia
- Khoshnevis, P. & Teirlinck, P. 2018. Performance Evaluation of R&D Active Firms. *Socio-Economic Planning Sciences* 61: 16-28.
- Kim, K. T., Lee, D. J., Park, S. J., Zhang, Y. & Sultanov, A. 2015. Measuring the Efficiency of the Investment for Renewable Energy in Korea Using Data Envelopment Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47: 694-702.
- Lee, M. 2015. Efficiency Analysis of R&D Productivity within the Korean Renewable Energy Technology Sector. *New & Renewable Energy* 11 (4): 4-18.
- Lins, M. E., Oliveira, L. B., Da Silva, A. C. M., Rosa, L. P. & Pereira Jr, A. O. 2012. Performance Assessment of Alternative Energy Resources in Brazilian Power Sector Using Data Envelopment Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1): 898-903.
- Lyu, X. & Shi, A. 2018. Research on the Renewable Energy Industry Financing Efficiency Assessment and Mode Selection. *Sustainability* 10 (1): 1-13.
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A. & Khoshnoudi, M. 2017. A Comprehensive Review of Data Envelopment Analysis (DEA) Approach in Energy Efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70: 1298-1322.
- Maulud, K. N. A., Karim, O. A. & Peik, A. L. S. 2017. Kajian Potensi Tenaga Marin Di Perairan Selangor Dan Perak. *Jurnal Kejuruteraan* 1 (Special Issue 1): 15-23.
- Mekhilef, S., Safari, A. & Chandrasegaran, D. 2012. Feasibility Study of Off-Shore Wind Farms in Malaysia. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research* 29 (1): 519-30.
- Mekhilef, S., Barimani, M., Safari, A. & Salam, Z. 2014. Malaysia's Renewable Energy Policies and Programs with Green Aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40: 497-504.
- Meleddu, M., & Pulina, M. 2018. Public Spending on Renewable Energy in Italian Regions. *Renewable Energy* 115: 1086-98.
- MOSTI. 2017. *National Survey of Research and Development (R&D) in Malaysia 2016*. Putrajaya, Malaysia.
- Mustafa, N. I., Ludin, N. A. Ibrahim, M. A., Zaharim, A. & Mohamed, N. M. 2019. Life Cycle Assessment of Dye Sensitized Solar Cell in Malaysia. *Jurnal Kejuruteraan* 31 (1): 161-68.
- OECD. 2017. *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017: The Digital Transformation*. OECD Science, Technology And Industry Scoreboard. Paris: OECD Publishing.
- Oh, T. H., Hasanuzzaman, M., Selvaraj, J., Teo, S. C. & Chua, S. C. 2018. Energy Policy and Alternative Energy in Malaysia: Issues and Challenges for Sustainable Growth – An Update. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 3021-3031.
- Petinrin, J.O. & Shaaban, M. 2015. Renewable Energy for Continuous Energy Sustainability in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50: 967-81.
- Ramanathan, R. 2001. Comparative Risk Assessment of Energy Supply Technologies: A Data Envelopment Analysis Approach. *Energy* 26 (2): 197-203.
- SEDA. 2018. *Installed Capacity (MW) of Commissioned RE Installations*. Putrajaya, Malaysia: Sustainable Energy Development Authority Malaysia (SEDA). <http://www.seda.gov.my>
- SEDA. 2017. *Annual Report Sustainable Energy Development Authority (SEDA) Malaysia*. Putrajaya, Malaysia: Sustainable Energy Development Authority Malaysia (SEDA). www.seda.gov.my.
- University of Malaya Library. 2018. *Directory of Institutional Repositories in Malaysia*. Kuala Lumpur, Malaysia: University of Malaya <https://umlib.um.edu.my/>
- Woo, C., Chung, Y., Chun, D., Seo, H. & Hong, S. 2015. The Static and Dynamic Environmental Efficiency of Renewable Energy: A Malmquist Index Analysis of OECD Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47: 367-76.
- Zhou, H., Yang, Y., Chen, Y. & Zhu, J. 2018. Data Envelopment Analysis Application in Sustainability: The Origins, Development and Future Directions. *European Journal of Operational Research* 264 (1): 1-16.