

Analisis Asimetri Markov bagi Hubungan Penggunaan Tenaga–Pertumbuhan Ekonomi: Kes Malaysia

An Asymmetric Markov-Switching Analysis of the Energy Consumption–Economic Growth Nexus: The Malaysian Case

Norazuwana Shaari¹, Rafiqa Murdipi^{2*}

¹Fuel Cell Institute, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia.

²Kulliyah of Economics and Management Sciences, International Islamic University Malaysia, PO Box 10, 50728 Kuala Lumpur, Malaysia.

*Email: rafiqa@iium.edu.my

ABSTRAK

Kajian ini meneliti hubungan tidak linear antara penggunaan tenaga boleh baharu (REC), penggunaan tenaga tidak boleh baharu (NREC) dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia menggunakan model pertukaran Markov dua rejim bagi tempoh 1980–2019. Data diperoleh daripada World Development Indicators (WDI) dan Energy Information Administration (EIA). Berbeza daripada kerangka linear yang mengandaikan hubungan yang tetap, pendekatan ini membolehkan kesan penggunaan tenaga berubah mengikut keadaan ekonomi. Dapatan menunjukkan bahawa REC mempunyai hubungan positif dan signifikan dengan pertumbuhan ekonomi dalam rejim volatiliti rendah, tetapi tidak signifikan dalam rejim volatiliti tinggi. Sebaliknya, NREC menunjukkan hubungan negatif dan signifikan ketika volatiliti ekonomi tinggi, manakala kesannya tidak signifikan dalam keadaan yang lebih stabil. Secara keseluruhan, hubungan tenaga–pertumbuhan di Malaysia didapati bergantung pada rejim. Dapatan ini menyokong pengukuhan tenaga boleh baharu secara progresif melalui pelaburan teknologi, penyelidikan dan pembangunan serta infrastruktur, di samping meningkatkan daya tahan sistem tenaga terhadap perubahan keadaan makroekonomi.

Kata kunci: tenaga boleh baharu; tenaga tidak boleh baharu; pertumbuhan ekonomi; pertukaran Markov; Malaysia

ABSTRACT

This study examines the nonlinear relationship between renewable energy consumption (REC), non-renewable energy consumption (NREC), and economic growth in Malaysia using a two-regime Markov-switching model for 1980–2019. Data were obtained from the World Development Indicators (WDI) and the Energy Information Administration (EIA). Unlike a linear framework that assumes a constant relationship, the Markov-switching approach allows the effects of energy consumption to vary across economic conditions. The findings show that REC is positively and significantly associated with economic growth in the low-volatility regime but is insignificant in the high-volatility regime. In contrast, NREC has a negative and significant relationship with economic growth during high-volatility periods, while its effect is insignificant under more stable conditions. Overall, the energy–growth relationship in Malaysia is regime dependent. The findings support a progressive strengthening of renewable energy through technology investment, research and development, and infrastructure,

together with measures that improve the resilience of the energy system to changing macroeconomic conditions.

Keywords: renewable energy; non-renewable energy; economic growth; Markov switching; Malaysia

PENGENALAN

Tenaga merupakan salah satu input asas yang menyokong aktiviti ekonomi, pembangunan industri dan kesejahteraan masyarakat. Peningkatan aktiviti pengeluaran, urbanisasi dan penggunaan teknologi lazimnya disertai oleh peningkatan permintaan terhadap tenaga, sekali gus menjadikan hubungan antara penggunaan tenaga dan pertumbuhan ekonomi sebagai isu penting dalam perancangan pembangunan sesebuah negara. Dalam literatur ekonomi tenaga, hubungan ini lazimnya dijelaskan melalui empat hipotesis utama, iaitu hipotesis pertumbuhan, hipotesis pemuliharaan, hipotesis maklum balas dan hipotesis neutraliti. Perbezaan arah hubungan yang dicadangkan oleh setiap hipotesis menunjukkan bahawa kesan penggunaan tenaga terhadap pertumbuhan ekonomi tidak semestinya seragam dan boleh berubah mengikut struktur serta keadaan ekonomi sesebuah negara.

Kebergantungan pembangunan ekonomi terhadap tenaga turut menimbulkan cabaran kelestarian apabila sebahagian besar keperluan tenaga masih dipenuhi melalui sumber tidak boleh baharu seperti petroleum, gas asli dan arang batu. Walaupun bahan api fosil telah memberikan sumbangan besar terhadap pembangunan ekonomi, penggunaannya secara berterusan turut dikaitkan dengan pencemaran, pelepasan gas rumah hijau dan perubahan iklim (Tang et al., 2021; Pasut et al., 2021). Keadaan ini meningkatkan keperluan untuk mengimbangi pertumbuhan ekonomi, keselamatan tenaga dan kelestarian alam sekitar. Persoalan ini amat relevan dalam konteks Malaysia. Pembangunan ekonomi dan perindustrian negara telah meningkatkan permintaan terhadap tenaga, sedangkan sebahagian besar bekalan tenaga Malaysia secara tradisinya bergantung kepada bahan api fosil. Pada masa yang sama, dasar tenaga negara telah berkembang ke arah kepelbagaian sumber dan peningkatan penggunaan tenaga boleh baharu sebagai sebahagian daripada usaha memperkukuh keselamatan tenaga serta mengurangkan kesan alam sekitar (Jalal & Bodger, 2009; Ahmad et al., 2011).

Hubungan antara penggunaan tenaga dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia telah dikaji menggunakan pelbagai pendekatan ekonometrik. Chandran et al. (2010) meneliti hubungan penggunaan elektrik dan pertumbuhan ekonomi, manakala Azlina (2012) menggunakan pendekatan kointegrasi multivariat. Kajian seterusnya mempertimbangkan keterbukaan perdagangan (Xuan et al., 2018), pembangunan kewangan (Malik & Masih, 2017), populasi (Shaari et al., 2013), inovasi teknologi (Li & Solaymani, 2021), serta penggunaan gas asli, pembentukan modal dan globalisasi (Etokapkan et al., 2020). Walaupun telah banyak dikaji, dapatan empirikal mengenai arah dan kekuatan hubungan tersebut masih bercampur. Keterbatasan pendekatan linear menjadi lebih penting apabila ekonomi melalui keadaan yang berbeza seperti pengembangan, kelembapan atau krisis. Model linear yang menghasilkan satu anggaran purata bagi keseluruhan tempoh kajian berpotensi menyembunyikan perubahan hubungan apabila ekonomi beralih antara keadaan. Berdasarkan jurang tersebut, kajian ini menggunakan pendekatan pertukaran Markov untuk menganalisis hubungan antara REC, NREC dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia. Kajian ini membezakan REC dan NREC serta menilai sama ada kesannya berubah mengikut rejim ekonomi.

TENAGA BOLEH BAHARU DAN PERALIHAN TENAGA DI MALAYSIA

Dari sudut ekonomi tenaga, pemisahan antara REC dan NREC penting kerana kedua-duanya beroperasi melalui saluran kos, pelaburan dan produktiviti yang berbeza. NREC lazimnya mendapat manfaat daripada rangkaian bekalan, teknologi penukaran dan infrastruktur yang matang, manakala REC memerlukan perbelanjaan awal untuk kapasiti penjanaan, sambungan grid, penyimpanan dan penyesuaian operasi. Perbezaan ini bermaksud peningkatan REC pada peringkat awal tidak semestinya segera diterjemahkan kepada pertumbuhan keluaran. Sebaliknya, kesannya boleh muncul secara berperingkat apabila pelaburan modal, pembelajaran teknologi dan kecekapan sistem mencapai tahap yang mencukupi. Perspektif ini selaras dengan Li dan Solaymani (2021), yang menunjukkan bahawa inovasi teknologi perlu dipertimbangkan bersama penggunaan tenaga dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia. Oleh itu, penilaian REC hanya berdasarkan perubahan kuantiti penggunaan tanpa mempertimbangkan keadaan ekonomi boleh menghasilkan gambaran yang terlalu umum.

Aspek keselamatan tenaga turut membezakan peranan kedua-dua sumber. Kebergantungan tinggi terhadap sumber konvensional boleh memberikan kestabilan dalam jangka pendek apabila

infrastruktur sedia ada berfungsi dengan baik, tetapi pendedahan kepada perubahan harga input, gangguan bekalan dan ketidakstabilan ekonomi boleh mengubah sumbangan tersebut. Sebaliknya, kepelbagaian sumber melalui REC berpotensi mengurangkan kebergantungan kepada satu kumpulan bahan api, namun manfaat tersebut bergantung pada kapasiti sistem untuk mengintegrasikan teknologi baharu. Justeru, peralihan tenaga bukan proses penggantian mekanikal antara dua jenis tenaga. Ia merupakan perubahan struktur yang melibatkan modal, teknologi, dasar dan keupayaan institusi. Kerangka ini penting untuk mentafsir keputusan empirikal kajian kerana pekali REC dan NREC yang berbeza antara rejim boleh mencerminkan perubahan keadaan yang mempengaruhi keberkesanan penggunaan tenaga terhadap aktiviti ekonomi.

Dalam tempoh kajian 1980–2019, Malaysia mengalami perubahan struktur ekonomi yang besar, termasuk perkembangan sektor perindustrian, perkhidmatan dan peningkatan penggunaan teknologi. Perubahan ini secara munasabah mengubah intensiti dan komposisi permintaan tenaga. Kajian terdahulu yang memecahkan penggunaan tenaga mengikut bahan api, seperti Lean dan Smyth (2014), Park dan Yoo (2014), serta Rahman et al. (2017), menunjukkan bahawa kesan ekonomi tidak semestinya sama bagi setiap sumber. Oleh sebab itu, trend peningkatan REC yang berlaku serentak dengan dominasi NREC perlu dianalisis sebagai dua proses yang berbeza. Pendekatan kajian semasa mengekalkan perbezaan tersebut dan seterusnya menilai sama ada hubungan masing-masing berubah apabila ekonomi berada dalam keadaan volatiliti yang berlainan.

Pembangunan sektor tenaga Malaysia berkait rapat dengan proses perindustrian dan pertumbuhan ekonomi negara. Dalam memenuhi peningkatan permintaan tenaga, sistem tenaga Malaysia secara tradisinya bergantung kepada petroleum, gas asli dan arang batu. Kebergantungan kepada bahan api fosil menyokong perkembangan ekonomi dan infrastruktur negara, namun pada masa yang sama meningkatkan cabaran berkaitan pelepasan gas rumah hijau, pencemaran dan kelestarian sumber tenaga (Zakaria et al., 2021).

Keadaan ini mendorong perubahan secara berperingkat daripada kebergantungan dominan terhadap bahan api fosil kepada campuran tenaga yang lebih pelbagai. Ahmad et al. (2011) menunjukkan bahawa pembangunan tenaga boleh baharu di Malaysia berkembang seiring dengan usaha memperkukuh keselamatan bekalan tenaga dan mengurangkan kesan alam sekitar daripada penggunaan sumber konvensional. Penglibatan masyarakat dan pihak berkepentingan turut menjadi komponen penting dalam pembangunan tenaga boleh baharu (Abdullah et al., 2021). Peralihan daripada NREC kepada REC mempunyai implikasi ekonomi yang lebih luas. Infrastruktur bahan api fosil telah lama diintegrasikan dalam sistem pengeluaran dan penggunaan, manakala pengembangan teknologi tenaga boleh baharu memerlukan pelaburan modal, pembangunan teknologi dan keupayaan institusi. Hubungan antara penggunaan tenaga, inovasi teknologi dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia turut menunjukkan kepentingan kemajuan teknologi dalam menentukan corak penggunaan tenaga negara (Li & Solaymani, 2021). Data kajian menunjukkan bahawa NREC kekal dominan sepanjang sebahagian besar tempoh 1980–2019, walaupun REC turut menunjukkan trend pertumbuhan positif. Peningkatan REC menjadi lebih ketara sekitar tahun 2010. Perbezaan trajektori ini menunjukkan bahawa penggabungan REC dan NREC sebagai satu ukuran tenaga agregat berpotensi menyembunyikan perbezaan kesannya terhadap pertumbuhan ekonomi.

SOROTAN LITERATUR

Literatur tenaga-pertumbuhan berkembang daripada persoalan kausaliti asas kepada penilaian yang lebih terperinci tentang heterogeniti sumber, perubahan struktur dan ketaklinearan. Dalam kajian Malaysia, Tang (2008), Chandran et al. (2010) dan Azlina (2012) memberikan bukti awal bahawa penggunaan tenaga dan aktiviti ekonomi mempunyai hubungan yang perlu dinilai secara dinamik. Walau bagaimanapun, perbezaan pemboleh ubah, tempoh sampel dan kaedah ekonometrik menyebabkan kesimpulan tidak sentiasa seragam. Hal ini bukan semata-mata kelemahan literatur; sebaliknya ia menunjukkan bahawa hubungan tenaga–pertumbuhan sensitif terhadap bagaimana tenaga diukur dan keadaan ekonomi yang melatari data. Kajian semasa mengambil isu ini sebagai titik permulaan dengan membezakan REC dan NREC serta mengelakkan andaian bahawa satu pekali purata dapat mewakili keseluruhan tempoh.

Dari perspektif metodologi, kajian yang menggunakan ARDL, VECM dan teknik kointegrasi memberikan maklumat penting tentang hubungan jangka pendek dan jangka panjang. Namun, model tersebut lazimnya menganggap parameter stabil sepanjang sampel kecuali perubahan struktur dimodelkan secara khusus. Apabila ekonomi mengalami episod turun naik yang besar, anggaran tunggal

boleh menggabungkan tindak balas yang sebenarnya berbeza. Penggunaan model pertukaran Markov membolehkan keadaan laten dikenal pasti secara probabilistik dan parameter dianggarkan mengikut rejim. Kelebihan ini relevan untuk Malaysia kerana perubahan prestasi ekonomi sepanjang empat dekad kajian berpotensi mempengaruhi cara penggunaan tenaga diterjemahkan kepada pertumbuhan. Oleh itu, model rejim bukan pengganti kepada semua pendekatan terdahulu, tetapi peluasan yang membolehkan persoalan berbeza dijawab.

Kajian asimetri terkini mengukuhkan keperluan tersebut. Baz et al. (2021) menunjukkan bahawa bahan api fosil dan tenaga boleh baharu boleh memberikan tindak balas yang tidak simetri terhadap pertumbuhan, manakala Jafri et al. (2021) melaporkan bahawa pemisahan tenaga konvensional dan tenaga boleh baharu menghasilkan pemahaman yang lebih bernuansa berbanding ukuran agregat. Chen et al. (2020) pula menunjukkan kewujudan kesan ambang bagi REC. Walaupun model ambang, model asimetri dan model pertukaran Markov berbeza dari segi struktur, kesemuanya berkongsi implikasi penting: hubungan tenaga-pertumbuhan boleh berubah mengikut keadaan. Kajian ini menerapkan implikasi tersebut kepada Malaysia melalui dua kategori tenaga dan dua rejim volatiliti. Novelty kajian ini perlu diletakkan secara berhati-hati. Penggunaan pendekatan pertukaran rejim dalam penyelidikan tenaga bukan sesuatu yang baharu secara mutlak, dan aplikasi Markov-switching telah digunakan untuk menilai hubungan tenaga, kecekapan dan pelepasan dalam konteks lain (Phadkantha & Tansuchat, 2023). Sumbangan kajian ini terletak pada gabungan konteks Malaysia, pemisahan REC dan NREC, serta perbandingan kesannya terhadap pertumbuhan merentas keadaan volatiliti rendah dan tinggi. Kedudukan ini mengelakkan tuntutan novelty yang berlebihan sambil mengekalkan sumbangan empirikal yang jelas.

Penggunaan tenaga dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia

Kajian awal di Malaysia banyak menilai hubungan penggunaan tenaga secara agregat atau berdasarkan sumber tenaga konvensional. Chandran et al. (2010), Azlina (2012) dan Tang (2008) menyediakan asas penting kepada literatur tenaga-pertumbuhan Malaysia. Literatur seterusnya menunjukkan bahawa kesan tenaga boleh berubah apabila penggunaan tenaga dipecahkan mengikut jenis sumber. Lean dan Smyth (2014) menganalisis permintaan tenaga berdasarkan jenis bahan api, Park dan Yoo (2014) memberi tumpuan kepada minyak, manakala Rafindadi dan Ozturk (2015) serta Solarin dan Shahbaz (2015) menilai gas asli. Rahman et al. (2017) pula menilai pergantungan pertumbuhan ekonomi Malaysia terhadap penggunaan tenaga yang dipecahkan mengikut sumber.

Perbandingan kajian tersebut menunjukkan bahawa ukuran tenaga agregat berpotensi menyembunyikan perbezaan fungsi setiap sumber tenaga. Hubungan tersebut juga semakin kompleks apabila pemboleh ubah lain dipertimbangkan, termasuk keterbukaan perdagangan, inovasi teknologi, pembentukan modal dan globalisasi (Xuan et al., 2018; Li & Solaymani, 2021; Etokakpan et al., 2020).

Tenaga boleh baharu dan pertumbuhan ekonomi

Perkembangan agenda kelestarian telah memperluas literatur daripada bahan api fosil kepada sumbangan tenaga boleh baharu terhadap pembangunan ekonomi. Secara konseptual, peningkatan REC berpotensi menyokong pertumbuhan melalui pembangunan infrastruktur, pelaburan teknologi dan kepelbagaian sumber tenaga. Namun, bukti empirikal tidak menunjukkan kesan positif yang seragam. Raihan dan Tuspekova (2022) menilai hubungan pertumbuhan ekonomi, REC, kawasan berhutan dan pelepasan karbon di Malaysia, manakala Bui dan Van (2023) serta Xie et al. (2023) menunjukkan bahawa hubungan REC-pertumbuhan perlu ditafsirkan berdasarkan konteks ekonomi. Chen et al. (2020) menunjukkan melalui model ambang bahawa hubungan penggunaan tenaga boleh baharu dan pertumbuhan ekonomi boleh berubah mengikut tahap penggunaan REC. Dapatan ini mencabar andaian bahawa hubungan REC-pertumbuhan bersifat linear sepanjang masa.

Ketaklinearan dan hubungan asimetri tenaga-pertumbuhan

Perkembangan metodologi menunjukkan bahawa andaian linear mungkin menjadi salah satu faktor yang menyumbang kepada ketidakselarasan dapatan terdahulu. Jafri et al. (2021) menilai hubungan tenaga konvensional, tenaga boleh baharu dan pertumbuhan ekonomi melalui perspektif asimetri, manakala Baz et al. (2021) menggunakan teknik tidak linear bagi menilai kesan asimetri bahan api fosil dan tenaga boleh baharu. Dalam konteks Malaysia, Siong et al. (2021) menggunakan pemodelan asimetri terhadap penggunaan bahan api.

Jika hubungan tenaga-pertumbuhan berubah mengikut kejutan, tahap penggunaan atau keadaan ekonomi, satu pekali linear bagi keseluruhan tempoh mungkin terlalu umum. Pendekatan pertukaran

rejim menawarkan mekanisme untuk menangani isu tersebut. Model pertukaran Markov berasaskan perkembangan regresi pertukaran oleh Goldfeld dan Quandt (1973), sementara Phadkantha dan Tansuchat (2023) menunjukkan aplikasi model Markov-switching dalam hubungan tenaga, pertumbuhan dan pelepasan karbon.

Secara keseluruhan, kajian yang secara serentak membezakan REC dan NREC serta membenarkan kesannya berubah mengikut rejim ekonomi masih terhad dalam konteks Malaysia. Kajian ini mengisi jurang tersebut dengan menggunakan model pertukaran Markov untuk membandingkan kesan REC dan NREC terhadap pertumbuhan ekonomi merentas keadaan volatiliti yang berbeza.

SUMBER DATA DAN ANALISIS AWAL

Kajian menggunakan data siri masa tahunan Malaysia bagi tempoh 1980–2019. Data kajian ini meliputi tempoh sehingga tahun 2019 bagi memastikan analisis mencerminkan dinamik ekonomi pra-pandemik. Tempoh selepas 2019 dikecualikan kerana krisis COVID-19 merupakan kejutan ekonomi luar biasa yang berpotensi menyebabkan perubahan struktur dan mempengaruhi pengenalpastian rejim dalam model Markov Switching. Data KDNK per kapita, pembentukan modal tetap kasar pada harga malar dolar AS 2010 diperoleh daripada World Development Indicators (WDI). Modal insan (HC) diukur menggunakan Indeks Modal Insan, HC (*Human Capital Index*) daripada *Penn World Table* (PWT), yang dibentuk berdasarkan tahun persekolahan dan pulangan terhadap pendidikan. Penggunaan indeks ini sebagai ukuran modal insan turut digunakan dalam kajian empirikal terkini (Afolabi dan Adeosun, 2026; Che et al., 2025). Sementara itu, data penggunaan tenaga diperoleh daripada Energy Information Administration (EIA). REC merangkumi tenaga boleh baharu hidroelektrik dan bukan hidroelektrik, manakala NREC merangkumi bahan api cecair, gas asli dan arang batu. Statistik deskriptif menunjukkan perbezaan skala dan variasi antara pemboleh ubah kajian. Matriks korelasi digunakan sebagai pemeriksaan awal terhadap arah hubungan linear antara pertumbuhan, REC, NREC, modal dan modal insan. Korelasi ini tidak ditafsirkan sebagai hubungan sebab-akibat.

Jadual 1: Ringkasan Statistik

Statistik	PERTUMBUHAN	REC	NREC	MODAL	HC
Min	0.036	0.082	1.833	3.322	2.517
Median	0.039	0.058	1.666	3.246	2.577
Maksimum	0.072	0.298	3.663	3.775	3.079
Minimum	-0.097	0.014	0.398	3.024	1.781
Sisihan Piawai	0.033	0.071	1.042	0.228	0.396
Kecondongan	-2.051	1.996	0.174	0.619	-0.340
Kurtosis	7.918	6.111	1.632	2.052	1.883
Jarque-Bera	68.363	42.693	3.321	4.050	2.851
Kebarangkalian	0.000	0.000	0.190	0.132	0.240

Jadual 1 menunjukkan bahawa purata pertumbuhan ekonomi Malaysia bagi tempoh kajian ialah 0.036, dengan nilai minimum -0.097 dan maksimum 0.072. Julat ini mencerminkan kewujudan tempoh pengembangan dan penguncupan ekonomi yang ketara, sekaligus menyokong keperluan untuk menilai kemungkinan perubahan rejim. Dari sudut penggunaan tenaga, purata NREC (1.833) jauh lebih tinggi berbanding REC (0.082), selaras dengan struktur tenaga Malaysia yang masih didominasi oleh sumber tidak boleh baharu sepanjang sebahagian besar tempoh 1980-2019. REC pula menunjukkan kecondongan positif yang lebih tinggi (1.996), mencerminkan peningkatan penggunaan yang lebih ketara pada bahagian akhir tempoh kajian. Nilai Jarque-Bera yang signifikan bagi pertumbuhan dan REC turut menunjukkan bahawa kedua-dua siri tidak mengikuti taburan normal, memberikan petunjuk awal bahawa hubungan antara pemboleh ubah mungkin tidak dapat diterangkan sepenuhnya melalui andaian linear dan taburan yang seragam.

Jadual 2: Matriks Korelasi

	PERTUMBUHAN	REC	NREC	MODAL	HC
PERTUMBUHAN	1.000				
REC	0.002	1.000			
NREC	-0.075	0.754	1.000		
MODAL	0.334	-0.330	-0.578	1.000	

MODAL INSAN (HC)	-0.052	0.703	0.974	-0.545	1.000
---------------------	--------	-------	-------	--------	-------

Seperti ditunjukkan dalam Jadual 2, korelasi antara pertumbuhan ekonomi dengan REC adalah sangat lemah dan positif (0.002), manakala korelasi dengan NREC adalah lemah dan negatif (-0.075). Corak ini menunjukkan bahawa hubungan linear antara penggunaan tenaga dan pertumbuhan ekonomi adalah terhad. Sebaliknya, korelasi yang tinggi antara NREC dan modal insan (0.974), serta antara REC dan NREC (0.754), mencerminkan perkembangan bersama beberapa komponen ekonomi dan tenaga sepanjang tempoh kajian. Walau bagaimanapun, pekali korelasi tidak menunjukkan hubungan sebab-akibat dan tidak mengambil kira kemungkinan perubahan hubungan mengikut keadaan ekonomi. Justeru, keputusan korelasi ini lebih sesuai dianggap sebagai analisis awal yang mengukuhkan keperluan untuk menggunakan pendekatan dinamik dan tidak linear dalam analisis seterusnya.

Kepegungan siri diperiksa menggunakan ujian Augmented Dickey-Fuller (ADF) dan Phillips-Perron (PP). Keputusan menunjukkan REC, NREC dan modal menjadi pegun selepas pembezaan pertama. Modal insan (HC) menunjukkan pola yang berbeza dan keputusan ini akan ditafsirkan secara berhati-hati tanpa membuat andaian tambahan terhadap tahap pembezaannya.

Jadual 3: Keputusan Ujian Punca Unit ADF dan PP

Pemboleh ubah	Aras		Pembezaan pertama	
	ADF	PP	ADF	PP
Pertumbuhan	-5.145***	-5.145***	-7.591*** (0.000)	-17.868*** (0.000)
REC	1.266	1.056	-4.238*** (0.010)	-4.212*** (0.010)
NREC	-2.989	-2.417	-5.494*** (0.000)	-6.795*** (0.000)
Modal	-2.644	-2.196	-4.598*** (0.004)	-4.550*** (0.004)
Modal insan (HC)	0.004	-0.276	-2.597 (0.284)	-2.621 (0.274)

*Nota: *** menunjukkan keertian statistik pada aras 1%.*

Ujian Brock, Dechert dan Scheinkman (BDS) digunakan untuk menilai kemungkinan struktur tidak linear. Penolakan hipotesis nol bagi REC dan NREC pada dimensi yang diuji menyokong kewujudan struktur tidak linear dan memberikan justifikasi empirikal kepada penggunaan model pertukaran Markov.

Keputusan dalam Jadual 3 menunjukkan bahawa pertumbuhan ekonomi adalah pegun pada aras, manakala REC, NREC dan modal menjadi pegun selepas pembezaan pertama berdasarkan ujian ADF dan PP pada aras keertian 1%. Keputusan ini menunjukkan bahawa siri utama kajian mempunyai darjah integrasi yang berbeza dan perlu dikendalikan secara berhati-hati sebelum penganggaran model. Bagi modal insan, statistik ujian selepas pembezaan pertama masih tidak signifikan pada aras konvensional. Oleh sebab itu, keputusan modal insan dalam model empirikal ditafsirkan secara lebih berhati-hati dan tidak dijadikan asas kepada kesimpulan utama kajian. Secara keseluruhan, ujian punca unit berfungsi sebagai pemeriksaan awal terhadap sifat stokastik data sebelum analisis ketaklinearan dan pertukaran rejim dilaksanakan.

Jadual 4: Keputusan Ujian Lineariti BDS

Siri	Dimensi	Statistik BDS	Statistik-Z	Nilai-p
REC	2	0.002	2.999	0.003
REC	3	0.001	12.914	0.000
NREC	2	0.003	4.550	0.000
NREC	3	0.001	11.098	0.000

Jadual 4 memberikan bukti yang lebih langsung tentang kewujudan ketaklinearan. Bagi REC, hipotesis tidak lineariti ditolak pada dimensi 2 (statistik-Z = 2.999; $p = 0.003$) dan dimensi 3 (statistik-Z = 12.914; $p < 0.001$). Keputusan yang sama diperoleh bagi NREC, dengan statistik-Z masing-masing 4.550 dan 11.098 serta nilai-p kurang daripada 0.01. Peningkatan statistik-Z pada dimensi yang lebih tinggi menunjukkan bahawa struktur kebergantungan dalam siri penggunaan tenaga tidak dapat diterangkan dengan memadai melalui hubungan linear mudah. Oleh itu, penggunaan model pertukaran Markov adalah berasas secara empirikal kerana model tersebut membolehkan parameter hubungan tenaga-pertumbuhan berubah apabila ekonomi beralih antara keadaan volatiliti yang berbeza.

MODEL EMPIRIKAL DAN METODOLOGI

Pemilihan KDNK per kapita sebagai ukuran prestasi ekonomi membolehkan perubahan aktiviti ekonomi dinilai dengan mengambil kira saiz penduduk, manakala pembentukan modal dan modal insan dimasukkan bagi mewakili input pengeluaran selain tenaga. Kemasukan pemboleh ubah kawalan adalah penting kerana pertumbuhan ekonomi tidak ditentukan oleh tenaga secara bersendirian. Sekiranya modal dan keupayaan tenaga buruh diabaikan, pekali penggunaan tenaga berpotensi menyerap sebahagian kesan faktor pengeluaran lain. Oleh itu, spesifikasi kajian mengekalkan logik fungsi pengeluaran dan memfokuskan tafsiran utama pada perbezaan pekali REC dan NREC antara rejim. Sebelum penganggaran model rejim, sifat siri masa diperiksa untuk mengurangkan risiko inferens palsu. Ujian ADF dan PP digunakan kerana kedua-duanya merupakan prosedur standard untuk menilai punca unit. Keputusan menunjukkan bahawa beberapa siri tidak mempunyai masalah punca unit selepas pembezaan pertama, manakala pertumbuhan telah menunjukkan sifat pegun dalam keputusan yang dilaporkan. Ujian BDS seterusnya berfungsi sebagai pemeriksaan terhadap andaian lineariti. Statistik yang signifikan bagi REC dan NREC menunjukkan bahawa struktur data mengandungi pola yang tidak dapat diterangkan sepenuhnya oleh andaian bebas dan identik yang mendasari hubungan linear ringkas. Keputusan tersebut tidak dengan sendirinya menentukan bahawa model pertukaran Markov ialah satu-satunya model yang sesuai, tetapi memberikan asas empirikal untuk meneroka spesifikasi tidak linear. Dalam kajian ini, model dua rejim dipilih kerana ia membolehkan hubungan tenaga-pertumbuhan dinilai di bawah dua keadaan volatiliti ekonomi yang berlainan dan menghasilkan interpretasi yang terus berkaitan dengan persoalan kajian.

Secara konseptual, proses Markov mengandaikan bahawa kebarangkalian keadaan semasa bergantung pada keadaan sebelumnya. Dalam model dua rejim, kebarangkalian untuk kekal atau berpindah antara Rejim 1 dan Rejim 2 membentuk matriks peralihan. Parameter rejim membolehkan min, varians atau pekali tertentu berbeza mengikut spesifikasi model yang dianggarkan. Dalam manuskrip ini, interpretasi rejim mengikut output asal: Rejim 1 mewakili volatiliti rendah atau keadaan ekonomi yang lebih stabil, manakala Rejim 2 mewakili volatiliti tinggi. Pemisahan ini menyediakan asas untuk membandingkan sama ada REC dan NREC mempunyai hubungan yang sama atau berbeza apabila keadaan makroekonomi berubah. Hubungan antara penggunaan tenaga dan pertumbuhan ekonomi dianalisis berasaskan kerangka fungsi pengeluaran neoklasik. Dalam kerangka ini, pengeluaran ditentukan oleh input utama, iaitu buruh (L), modal (K) dan tenaga (E), sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan (1):

$$Y_t = f(K_t, L_t, E_t) \quad (1)$$

dengan Y merujuk kepada keluaran agregat atau KDNK benar, K ialah modal, L ialah buruh, E ialah kuantiti berkaitan tenaga, manakala t menunjukkan masa. Kemasukan modal dan buruh sebagai pemboleh ubah kawalan membantu mengurangkan kemungkinan bias pemboleh ubah tertinggal. Komponen tenaga kemudiannya dipecahkan kepada REC dan NREC untuk membolehkan kesan kedua-dua kategori dinilai secara berasingan. Model pertukaran Markov digunakan untuk menangkap perubahan kesan pemboleh ubah mengikut keadaan ekonomi. Model pertukaran rejim Markov yang dicadangkan oleh (Hamilton, 1989) membenarkan parameter berubah merentas rejim. Mekanisme pertukaran dipandu oleh pemboleh ubah keadaan yang tidak diperhatikan dan mengikuti rantaian Markov tertib pertama. Dengan mengandaikan kesan pemboleh ubah penerang bergantung pada keadaan s_t , hubungan tenaga-pertumbuhan boleh berubah apabila ekonomi beralih antara rejim. Rejim 1 ditakrifkan sebagai keadaan stabil atau volatiliti pertumbuhan yang rendah, manakala Rejim 2 menggambarkan volatiliti pertumbuhan yang tinggi yang dikaitkan dengan kemerosotan atau kemelesetan ekonomi. Kebarangkalian peralihan menerangkan kemungkinan ekonomi kekal dalam rejim yang sama atau beralih kepada rejim lain dari satu tempoh ke tempoh berikutnya.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Perbezaan tanda, magnitud dan keertian statistik antara rejim menunjukkan bahawa penggabungan semua pemerhatian dalam satu hubungan linear berpotensi menutup variasi yang substantif. Dalam model NREC, pekali tenaga berubah daripada positif tetapi tidak signifikan dalam Rejim 1 kepada negatif dan signifikan dalam Rejim 2. Dalam model REC, pola yang hampir bertentangan diperhatikan

apabila pekali positif dan signifikan muncul dalam Rejim 1 tetapi tidak signifikan dalam Rejim 2. Kontras ini merupakan dapatan empirikal paling penting kerana ia secara langsung menyokong objektif kajian untuk menilai heterogeniti hubungan tenaga dan pertumbuhan ekonomi. Bagi REC, hubungan positif dalam keadaan volatiliti rendah boleh difafsirkan sebagai keadaan di mana pelaburan dan penggunaan teknologi tenaga boleh baharu mempunyai ruang yang lebih baik untuk diserap oleh ekonomi. Dalam persekitaran yang lebih stabil, keputusan pelaburan, pembiayaan projek dan pembangunan infrastruktur lazimnya menghadapi ketidakpastian yang lebih rendah. Walau bagaimanapun, kajian ini tidak menguji mekanisme tersebut secara langsung. Oleh itu, penjelasan tersebut perlu dianggap sebagai interpretasi ekonomi yang konsisten dengan keputusan, bukan bukti kausal tentang saluran tertentu. Ketidadaan keertian statistik REC dalam Rejim 2 pula menunjukkan bahawa manfaat tersebut tidak cukup konsisten ketika volatiliti meningkat. Dapatan REC juga mempunyai hubungan konseptual dengan Chen et al. (2020), yang menunjukkan bahawa kesan REC boleh berubah selepas sesuatu nilai ambang. Perbezaannya ialah kajian ini tidak menganggarkan ambang kuantiti REC, tetapi membezakan keadaan berdasarkan rejim ekonomi. Kedua-dua pendekatan menunjukkan bahawa kesimpulan 'lebih banyak REC sentiasa meningkatkan pertumbuhan' terlalu mudah. Bagi Malaysia, implikasinya ialah peningkatan kapasiti tenaga boleh baharu perlu disertai keupayaan sistem ekonomi untuk menyerap pelaburan dan teknologi tersebut. Dengan kata lain, sasaran kapasiti sahaja tidak semestinya mencukupi untuk menghasilkan kesan pertumbuhan yang konsisten.

Bagi NREC, hubungan negatif dan signifikan dalam Rejim 2 menunjukkan bahawa peranan tenaga konvensional berubah ketika volatiliti ekonomi tinggi. Keputusan ini tidak bermaksud penggunaan NREC sentiasa merencatkan pertumbuhan. Dalam Rejim 1, pekalinya positif tetapi tidak signifikan, justeru bukti tidak menyokong kesan yang seragam. Tafsiran yang lebih tepat ialah kebergantungan kepada NREC tidak memberikan perlindungan pertumbuhan yang konsisten merentas keadaan ekonomi dan menjadi negatif dalam rejim volatiliti tinggi. Dapatan ini bertepatan dengan keperluan literatur asimetri untuk membezakan tindak balas mengikut sumber dan keadaan (Jafri et al., 2021; Baz et al., 2021). Perbandingan REC dan NREC juga mempunyai implikasi kepada reka bentuk dasar. Sekiranya hanya jumlah penggunaan tenaga agregat dianalisis, pekali positif REC dalam Rejim 1 dan pekali negatif NREC dalam Rejim 2 boleh saling mengimbangi dan menghasilkan kesimpulan purata yang kurang informatif. Pemisahan sumber menunjukkan bahawa dasar tenaga perlu mempertimbangkan komposisi, bukan hanya jumlah. Pada masa yang sama, keputusan tidak menyokong penggantian NREC secara mendadak kerana sistem tenaga Malaysia masih bergantung pada infrastruktur konvensional. Strategi yang lebih konsisten dengan dapatan ialah memperkukuh REC secara progresif sambil mengurangkan kerentanan yang berpunca daripada kebergantungan berlebihan terhadap sumber tertentu.

Keputusan pemboleh ubah modal mengingatkan bahawa hubungan tenaga dan pertumbuhan berlaku dalam sistem pengeluaran yang lebih luas. Modal kekal positif dan signifikan dalam beberapa spesifikasi, menunjukkan bahawa kapasiti pelaburan masih merupakan komponen penting dalam menerangkan pertumbuhan. Modal insan pula menunjukkan tanda dan keertian yang berubah antara model dan rejim. Dari perspektif peralihan tenaga, keputusan menunjukkan bahawa ketahanan dasar sama penting dengan sasaran pengembangan REC. Jika hubungan positif REC lebih jelas ketika volatiliti rendah, dasar yang hanya berkembang semasa keadaan ekonomi baik mungkin kehilangan momentum ketika ekonomi tertekan. Mekanisme pembiayaan, kesinambungan R&D, pembangunan infrastruktur dan sokongan teknologi yang lebih tahan terhadap kitaran ekonomi boleh membantu mengurangkan masalah tersebut. Dapatan ini tidak menentukan instrumen dasar tertentu, tetapi menunjukkan bahawa perancangan tenaga perlu mengambil kira perubahan keadaan makroekonomi sebagai sebahagian daripada reka bentuk strategi peralihan.

Implikasi keputusan juga boleh dilihat melalui konsep kepelbagaian campuran tenaga. Apabila satu sistem terlalu tertumpu pada sumber tertentu, perubahan kos atau keadaan ekonomi yang menjejaskan sumber tersebut boleh memberi kesan yang lebih luas kepada aktiviti pengeluaran. Peningkatan REC secara berperingkat menyediakan satu saluran kepelbagaian, tetapi keberkesanannya bergantung pada kebolehpercayaan bekalan, kesediaan grid dan kemampuan pengguna serta firma untuk menyesuaikan teknologi. Kajian ini tidak mengukur ketiga-tiga mekanisme tersebut secara langsung; namun, perbezaan pekali antara rejim menunjukkan bahawa analisis dasar perlu bergerak melangkaui perbandingan jumlah penggunaan. Penilaian kos sistem, keupayaan integrasi dan kesan makroekonomi wajar dilakukan secara bersama apabila sasaran peralihan tenaga dirangka. Dari sudut pelaburan,

hubungan positif REC dalam rejim stabil memberi isyarat bahawa kesinambungan projek tenaga bersih boleh menjadi sebahagian daripada strategi pembangunan ekonomi, bukannya hanya strategi alam sekitar. Pembinaan kapasiti, penyelenggaraan, pembangunan teknologi dan aktiviti R&D mewujudkan permintaan terhadap modal serta kemahiran. Namun, kerana data kajian bersifat agregat, keputusan tidak dapat menentukan sejauh mana setiap saluran menyumbang kepada pekali REC. Kajian lanjutan yang menggabungkan data pelaburan tenaga, kapasiti terpasang dan inovasi boleh membezakan kesan penggunaan tenaga daripada kesan pembentukan aset tenaga. Pemisahan tersebut akan memperkukuh interpretasi mekanisme di sebalik hubungan yang dikenal pasti oleh model Markov.

Satu lagi pertimbangan ialah tempoh sampel yang panjang. Data 1980–2019 merangkumi fasa pembangunan ekonomi dan perubahan struktur tenaga yang tidak homogen. Kelebihan sampel panjang ialah ia menyediakan variasi yang diperlukan untuk mengenal pasti keadaan rejim, tetapi kelemahannya ialah perubahan institusi dan teknologi sepanjang tempoh tersebut boleh mempengaruhi parameter. Model pertukaran Markov menangani sebahagian isu ini melalui perubahan rejim, namun tidak menggantikan analisis khusus terhadap perubahan dasar atau kejutan struktur tertentu. Oleh itu, dapatan kajian perlu difahami sebagai corak makro jangka panjang yang berguna untuk membentuk hipotesis dasar, bukan sebagai penilaian impak bagi satu dasar tenaga tertentu. Konsistensi antara keputusan BDS dan keputusan Markov memberikan sokongan tambahan kepada naratif tidak linear. Ujian BDS menunjukkan bahawa REC dan NREC mempunyai struktur yang tidak selari dengan andaian linear ringkas, manakala model Markov seterusnya menunjukkan bahawa tanda dan keertian pekali tenaga memang berubah antara keadaan. Walaupun kedua-dua analisis mempunyai fungsi yang berbeza, gabungannya mengurangkan risiko bahawa perbincangan rejim hanya bergantung pada interpretasi *ex post* terhadap pekali. Dengan itu, urutan analisis daripada ujian awal kepada model utama membentuk justifikasi metodologi yang lebih koheren. Secara kritikal, model dua rejim memudahkan interpretasi tetapi juga menyederhanakan realiti ekonomi. Volatiliti tinggi boleh merangkumi episod dengan punca yang berbeza, dan data tahunan tidak menangkap turun naik jangka pendek secara terperinci. Selain itu, REC dan NREC ialah kategori agregat yang menggabungkan teknologi atau bahan api dengan ciri kos dan operasi yang berlainan. Oleh itu, hasil kajian lebih sesuai digunakan untuk memahami corak makro hubungan tenaga–pertumbuhan berbanding membuat kesimpulan khusus tentang satu teknologi seperti solar atau satu bahan api seperti gas asli. Anggaran model pertukaran Markov menunjukkan perbezaan dalam varians dan min antara kedua-dua keadaan, sekali gus menegaskan kewujudan hubungan tidak linear antara penggunaan tenaga dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia. Panel A melaporkan keputusan NREC, manakala Panel B melaporkan keputusan REC.

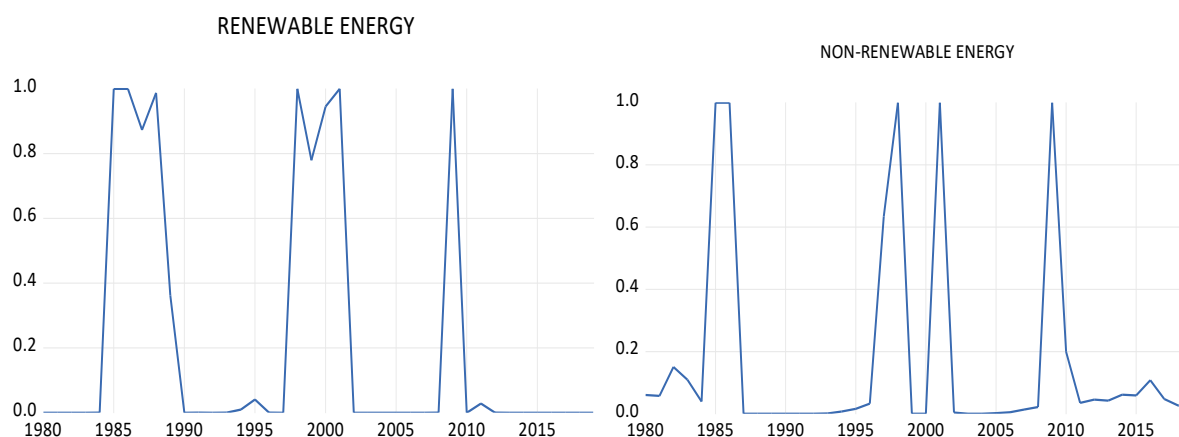
Jadual 5: Keputusan Model Pertukaran Markov bagi NREC dan REC terhadap Pertumbuhan Ekonomi

Pemboleh ubah	Panel A: NREC		Panel B: REC	
	Rejim 1 Volatiliti rendah	Rejim 2 Volatiliti tinggi	Rejim 1 Volatiliti rendah	Rejim 2 Volatiliti tinggi
Modal insan	-0.324 (0.196)	0.063*** (0.006)	-0.276*** (0.000)	0.011 (0.215)
Modal	0.189** (0.037)	0.036*** (0.003)	0.102 (0.250)	0.045*** (0.000)
Tenaga	0.159 (0.188)	-0.024*** (0.004)	6.818*** (0.000)	-0.049 (0.195)
Pemalar	-0.111 (0.816)	-0.185*** (0.003)	-0.078 (0.793)	-0.130** (0.018)
Log(Sigma)	-3.571*** (0.000)	-4.688*** (0.000)	-4.191*** (0.000)	-4.681*** (0.000)

*Nota: Nilai dalam kurungan ialah nilai-p. *, ** dan *** masing-masing menunjukkan keertian statistik pada aras 10%, 5% dan 1%.*

Jadual 5 memperlihatkan perbezaan yang jelas antara kesan REC dan NREC merentas dua rejim ekonomi. Dalam Panel A, NREC tidak mempunyai hubungan yang signifikan dengan pertumbuhan dalam Rejim 1, tetapi menjadi negatif dan signifikan pada aras 1% dalam Rejim 2 ($\beta = -0.024$). Sebaliknya, Panel B menunjukkan bahawa REC mempunyai hubungan positif dan signifikan pada kadar 1% dalam Rejim 1 ($\beta = 6.818$), manakala pekalinnya dalam Rejim 2 adalah negatif tetapi tidak signifikan ($\beta = -0.049$). Perbandingan ini merupakan dapatan teras kajian: sumbangan ekonomi REC lebih jelas ketika keadaan ekonomi relatif stabil, sedangkan kebergantungan kepada NREC dikaitkan dengan kesan pertumbuhan yang lebih lemah ketika volatiliti meningkat. Pemboleh ubah kawalan turut berubah mengikut rejim, khususnya modal dan modal insan, yang menguatkan hujah bahawa hubungan tenaga-pertumbuhan tidak bersifat statik.

MARKOV SWITCHING SMOOTHED REGIME PROBABILITIES IN LOW - VOLATILE REGIME



MARKOV SWITCHING SMOOTHED REGIME PROBABILITIES IN HIGH - VOLATILE REGIME



Rajah 1

Jadual 6 Klasifikasi rejim dan anggaran tempoh berdasarkan kebarangkalian terlicin.

Jenis tenaga	Rejim	Anggaran tempoh masa	Anggaran durasi
Tenaga boleh baharu	Volatiliti rendah	1985-1989	5 tahun
		1998-2002	5 tahun
		2009	1 tahun
Tenaga boleh baharu	Volatiliti tinggi	1980-1984	5 tahun
		1990-1997	8 tahun

Tenaga tidak boleh baharu	Volatiliti rendah	2003-2008	6 tahun
		2010-2018	9 tahun
		1985-1986	2 tahun
		1998-1999	2 tahun
		2001	1 tahun
Tenaga tidak boleh baharu	Volatiliti tinggi	2009	1 tahun
		1987-1997	11 tahun
		2002-2008	7 tahun
		2010-2018	9 tahun

Penggunaan tenaga boleh baharu dan pertumbuhan ekonomi

Dalam Rejim 1, pekali REC adalah positif dan signifikan pada aras 1% ($\beta = 6.818$). Dalam Rejim 2, pekali REC adalah negatif tetapi tidak signifikan ($\beta = -0.049$). Keputusan ini menunjukkan bahawa hubungan REC dengan pertumbuhan ekonomi bergantung kepada keadaan ekonomi. Dapatan ini membantu menjelaskan ketidakselarasan literatur terdahulu dan konsisten dengan idea bahawa hubungan REC–pertumbuhan boleh bersifat tidak linear. Chen et al. (2020) menunjukkan bahawa kesan REC boleh berubah mengikut nilai ambang penggunaan. Walaupun kajian ini tidak mengangarkan nilai ambang, kedua-dua dapatan menolak andaian hubungan linear yang tetap. Dalam konteks Malaysia, manfaat ekonomi REC mungkin bergantung pada tahap pembangunan teknologi, infrastruktur dan pelaburan berkaitan tenaga boleh baharu. Oleh itu, pengembangan REC perlu disertai oleh persekitaran institusi dan makroekonomi yang mampu menyokong pelaburan tenaga bersih secara berterusan.

Penggunaan tenaga tidak boleh baharu dan pertumbuhan ekonomi

Dalam Rejim 1, pekali NREC adalah positif tetapi tidak signifikan ($\beta = 0.159$). Dalam Rejim 2, pekali NREC menjadi negatif dan signifikan pada aras 1% ($\beta = -0.024$). Dapatan menunjukkan bahawa NREC tidak memberikan kesan positif yang konsisten dan dikaitkan dengan prestasi pertumbuhan yang lebih rendah ketika volatiliti ekonomi meningkat. Dapatan ini selari dengan literatur yang menunjukkan perbezaan kesan antara tenaga konvensional dan tenaga boleh baharu (Jafri et al., 2021; Baz et al., 2021). Apabila REC dan NREC dibandingkan, REC menunjukkan hubungan positif signifikan ketika volatiliti rendah, sedangkan NREC menunjukkan hubungan negatif signifikan ketika volatiliti tinggi. Perbezaan ini menyokong keputusan untuk tidak menggabungkan kedua-duanya sebagai satu pemboleh ubah tenaga agregat.

Peranan modal, modal insan dan implikasi peralihan tenaga

Modal menunjukkan kesan positif dan signifikan dalam kedua-dua rejim bagi model NREC, manakala dalam model REC modal signifikan dalam Rejim 2. Modal insan menunjukkan pola yang lebih kompleks dan perlu ditafsirkan secara berhati-hati kerana fokus utama kajian ialah hubungan tenaga–pertumbuhan. Secara keseluruhan, REC dan NREC menunjukkan tindak balas yang berbeza mengikut rejim. Dari perspektif peralihan tenaga, peningkatan REC perlu dilihat sebagai sebahagian daripada transformasi ekonomi yang memerlukan persekitaran pelaburan, teknologi dan infrastruktur yang menyokong. Kesan REC yang tidak signifikan ketika volatiliti tinggi menunjukkan bahawa pembangunan tenaga boleh baharu perlu mempunyai daya tahan terhadap perubahan keadaan ekonomi. Pada masa yang sama, hubungan negatif NREC dalam rejim volatiliti tinggi memberikan justifikasi untuk mengurangkan ketergantungan berlebihan terhadap sumber konvensional secara berperingkat.

Pemilihan dan Perbandingan Model

Jadual 7. Kriteria pemilihan model bagi model Linear dan Markov-Switching

Model	Log-Likelihood	AIC	BIC
Panel A: Tenaga boleh baharu			

Linear	82.5629	-3.9281	-3.7593
Markov-Switching	111.3009	-4.9650	-4.4584

Panel B: Tenaga tidak boleh baharu

Linear	82.5580	-3.9279	-3.7590
Markov-Switching	110.1217	-4.9061	-4.3994

Nota: AIC merujuk kepada Akaike Information Criterion, manakala BIC merujuk kepada Bayesian (Schwarz) Information Criterion. Nilai Log-Likelihood yang lebih tinggi serta nilai AIC dan BIC yang lebih rendah menunjukkan padanan relatif model yang lebih baik.

Jadual 7 membandingkan prestasi model linear dengan model Markov-Switching berdasarkan nilai Log-Likelihood, Akaike Information Criterion (AIC) dan Bayesian Information Criterion (BIC). Bagi tenaga boleh baharu, model Markov-Switching mencatatkan nilai Log-Likelihood yang lebih tinggi (111.3009) berbanding model linear (82.5629), manakala nilai AIC (-4.9650) dan BIC (-4.4584) adalah lebih rendah berbanding model linear, masing-masing -3.9281 dan -3.7593. Corak yang sama diperhatikan bagi tenaga tidak boleh baharu, dengan model Markov-Switching menghasilkan Log-Likelihood yang lebih tinggi (110.1217 berbanding 82.5580) serta nilai AIC (-4.9061) dan BIC (-4.3994) yang lebih rendah berbanding model linear (-3.9279 dan -3.7590). Secara keseluruhannya, ketiga-tiga kriteria pemilihan model secara konsisten menunjukkan bahawa spesifikasi Markov-Switching memberikan padanan relatif yang lebih baik terhadap data berbanding spesifikasi linear. Dapatan ini seterusnya menyokong penggunaan model Markov-Switching untuk menangkap perubahan dinamik antara rejim volatiliti yang berbeza dalam pasaran tenaga boleh baharu dan tenaga tidak boleh baharu.

KESIMPULAN

Dari segi keteguhan interpretasi, keertian statistik perlu dibaca bersama arah pekali dan konteks rejim. Keputusan yang tidak signifikan tidak ditafsirkan sebagai bukti bahawa sesuatu sumber langsung tidak mempunyai peranan ekonomi; sebaliknya, ia menunjukkan bahawa sampel dalam rejim berkenaan tidak memberikan bukti yang mencukupi untuk menyokong hubungan sistematik berdasarkan spesifikasi yang digunakan. Prinsip ini penting khususnya bagi REC dalam Rejim 2 dan NREC dalam Rejim 1. Dengan membezakan antara ketiadaan keertian statistik dan ketiadaan kesan secara mutlak, perbincangan mengelakkan kesimpulan binari yang tidak disokong oleh model. Secara dasar, hasil ini lebih sesuai menyokong strategi penyesuaian berperingkat daripada sasaran yang seragam merentas kitaran ekonomi. Ketika volatiliti rendah, persekitaran yang lebih stabil boleh digunakan untuk mempercepat pembentukan kapasiti dan infrastruktur REC. Ketika volatiliti meningkat, keutamaan mungkin beralih kepada memastikan kesinambungan projek, kestabilan pembiayaan dan kebolehpercayaan sistem supaya pembangunan REC tidak terhenti. Cadangan ini tidak bermaksud dasar perlu berubah sepenuhnya pada setiap kitaran, tetapi bahawa reka bentuk dasar perlu mempunyai mekanisme daya tahan yang membolehkan objektif jangka panjang diteruskan dalam keadaan ekonomi yang berbeza.

Dapatan kajian juga menegaskan kepentingan menyelaraskan objektif ekonomi dan tenaga. Peralihan kepada REC tidak harus dinilai hanya melalui peningkatan bahagian tenaga bersih, tetapi melalui keupayaannya menyokong aktiviti ekonomi secara stabil. Pada masa yang sama, pengurangan kebergantungan terhadap NREC perlu mengambil kira keselamatan bekalan dan kapasiti penggantian yang tersedia. Pendekatan seimbang ini selari dengan sifat keputusan yang bersyarat kepada rejim: manfaat atau kos ekonomi sesuatu sumber tidak terpisah daripada keadaan sistem yang menggunakannya. Oleh itu, penilaian prestasi peralihan tenaga wajar merangkumi indikator ekonomi, teknologi dan daya tahan, bukan satu ukuran penggunaan tenaga sahaja. Keseluruhan bukti ini mengukuhkan keperluan menilai perubahan campuran tenaga bersama perubahan keadaan ekonomi Malaysia dari semasa ke semasa. Sumbangan utama kajian ialah menunjukkan bahawa pertanyaan tentang tenaga dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia perlu bergerak daripada persoalan sama ada tenaga 'baik' atau 'buruk' kepada persoalan bila dan dalam keadaan apa sesuatu sumber berkait dengan pertumbuhan. Kerangka rejim menyediakan jawapan yang lebih bernuansa: REC mempunyai hubungan positif yang jelas dalam keadaan volatiliti rendah, manakala NREC menunjukkan hubungan negatif ketika volatiliti tinggi. Oleh itu, hasil kajian menyokong pendekatan dasar yang menggabungkan kepelbagaian sumber, kestabilan pelaburan dan daya tahan makroekonomi.

Kajian akan datang boleh memperincikan kategori REC kepada solar, hidro dan biojisim serta NREC kepada gas asli, petroleum dan arang batu untuk mengenal pasti sama ada heterogeniti yang diperhatikan berpunca daripada sumber tertentu. Penggunaan data dengan frekuensi lebih tinggi, pemboleh ubah harga tenaga, pelaburan hijau dan inovasi teknologi juga boleh membantu menguji mekanisme yang hanya dapat diuraikan secara konseptual dalam kajian ini. Perbandingan antara model Markov-switching, model ambang dan pendekatan asimetri pula boleh menilai keteguhan kesimpulan bahawa hubungan tenaga–pertumbuhan Malaysia sememangnya berubah mengikut keadaan. Kajian ini menilai hubungan antara REC, NREC dan pertumbuhan ekonomi di Malaysia menggunakan pendekatan pertukaran Markov. Dapatan menunjukkan bahawa hubungan tenaga–pertumbuhan bersifat tidak linear dan bergantung kepada rejim. REC mempunyai hubungan positif dan signifikan dengan pertumbuhan ekonomi dalam rejim volatiliti rendah, tetapi tidak signifikan dalam rejim volatiliti tinggi. Sebaliknya, NREC menunjukkan hubungan negatif dan signifikan ketika volatiliti tinggi, manakala kesannya tidak signifikan dalam keadaan yang lebih stabil.

Daripada perspektif dasar, hasil kajian menyokong pengukuhan tenaga boleh baharu sebagai sebahagian daripada strategi pertumbuhan dan peralihan tenaga Malaysia. Walau bagaimanapun, peningkatan REC perlu disokong oleh pelaburan teknologi, penyelidikan dan pembangunan, infrastruktur, pembiayaan dan mekanisme yang mengekalkan momentum pembangunan tenaga bersih ketika ekonomi tidak stabil.

Analisis menggunakan data agregat negara bagi tempoh 1980–2019 dan membezakan tenaga kepada REC dan NREC. Variasi antara teknologi tenaga boleh baharu atau jenis bahan api fosil tidak dinilai secara berasingan. Kajian akan datang boleh membezakan sumber seperti solar, hidro, biojisim, gas asli dan arang batu serta mempertimbangkan inovasi teknologi, pelaburan tenaga bersih dan perubahan dasar tenaga.

RUJUKAN

- Abdullah, W., et al. (2021). Public participation of renewable energy (PPRED) model in Malaysia: An instrument development. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10(1), 119–137.
- Afolabi, J. A., & Adeosun, T. O. (2026). Remittances, Human Capital, and Industrialization in Sub-Saharan Africa. *Review of Development Economics*.
- Ahmad, S., Ab Kadir, M. Z. A., & Shafie, S. (2011). Current perspective of the renewable energy development in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 897–904.
- Azlina, A. A. (2012). Energy consumption and economic development in Malaysia: A multivariate cointegration analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 65, 674–681.
- Baz, K., et al. (2021). Asymmetric impact of fossil fuel and renewable energy consumption on economic growth: A nonlinear technique. *Energy*, 226, 120357.
- Bui, T., & Van, H. B. (2023). Evaluating the relationship between renewable energy consumption and economic growth in Vietnam, 1995–2019. *Energy Reports*, 9, 609–617.
- Chandran, V., Sharma, S., & Madhavan, K. (2010). Electricity consumption–growth nexus: The case of Malaysia. *Energy Policy*, 38(1), 606–612.
- Che, N. X., Diez, F. J., Oeking, A., Xin, W., Che, N. X., Diez, F. J., Oeking, A., & Xin, W. (2025). Dissecting Medium-Term Growth Prospects for Asia. *IMF Working Papers*, 2025(168).
- Chen, C., Pinar, M., & Stengos, T. (2020). Renewable energy consumption and economic growth nexus: Evidence from a threshold model. *Energy Policy*, 139.
- Etokapkan, M. U., et al. (2020). Modeling natural gas consumption, capital formation, globalisation, CO₂ emissions and economic growth nexus in Malaysia. *Energy Strategy Reviews*, 31, 100526.
- Goldfeld, S. M., & Quandt, R. E. (1973). A Markov model for switching regression. *Journal of Econometrics*, 1, 3–16.
- Hamilton, J. D. (1989). A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle. *Econometrica*, 57(2), 357. <https://doi.org/10.2307/1912559>
- Jafri, M. A. H., Liu, H., Usman, A., & Khan, Q. R. (2021). Re-evaluating the asymmetric conventional energy and renewable energy consumption-economic growth nexus for Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Jalal, T. S., & Bodger, P. (2009). National energy policies and the electricity sector in Malaysia. 3rd International Conference on Energy and Environment.

- Lean, H. H., & Smyth, R. (2014). Disaggregated energy demand by fuel type and economic growth in Malaysia. *Applied Energy*, 132, 168–177.
- Li, Y., & Solaymani, S. (2021). Energy consumption, technology innovation and economic growth nexuses in Malaysia. *Energy*, 121040.
- Malik, M. N. A., & Masih, M. (2017). The relationship between energy consumption, financial development and economic growth: Evidence from Malaysia based on ARDL.
- Park, S.-Y., & Yoo, S.-H. (2014). The dynamics of oil consumption and economic growth in Malaysia. *Energy Policy*, 66, 218–223.
- Pasut, C., et al. (2021). Carbon, nitrogen, and sulfur elemental fluxes in the soil and exchanges with the atmosphere in Australian tropical, temperate, and arid wetlands. *Atmosphere*, 12(1), 42.
- Phadkantha, R., & Tansuchat, R. (2023). Dynamic impacts of energy efficiency, economic growth, and renewable energy consumption on carbon emissions: Evidence from Markov Switching model. *Energy Reports*, 9, 332–336.
- Rafindadi, A. A., & Ozturk, I. (2015). Natural gas consumption and economic growth nexus: Is the 10th Malaysian plan attainable within the limits of its resource? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1221–1232.
- Rahman, M. S., Noman, A. H. M., & Shahari, F. (2017). Does economic growth in Malaysia depend on disaggregate energy? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 640–647.
- Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). Toward a sustainable environment: Nexus between economic growth, renewable energy use, forested area, and carbon emissions in Malaysia. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15, 200096.
- Shaari, M. S., Rahim, H. A., & Rashid, I. (2013). Relationship among population, energy consumption and economic growth in Malaysia. *International Journal of Social Science*, 13(1).
- Siong, T. C., Kogid, M., & Alin, J. M. (2021). Asymmetric modeling of fuel consumption in Malaysia. *Energy*, 121905.
- Solarin, S. A., & Shahbaz, M. (2015). Natural gas consumption and economic growth: The role of foreign direct investment, capital formation and trade openness in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 835–845.
- Tang, C. F. (2008). A re-examination of the relationship between electricity consumption and economic growth in Malaysia. *Energy Policy*, 36(8), 3077–3085.
- Tang, K., Wang, M., & Zhou, D. (2021). Abatement potential and cost of agricultural greenhouse gases in Australian dryland farming system. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21862–21873.
- Xie, P., Zhu, Z., Hu, G., & Huang, J. (2023). Renewable energy and economic growth hypothesis: Evidence from N-11 countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(1).
- Xuan, P. P., Chin, L., & Ismail, N. W. (2018). Energy consumption and real GDP nexus: A Malaysian case demonstrating the importance of trade openness. *International Journal of Business & Society*, 19(2).
- Zakaria, Z., et al. (2021). The progress of fuel cell for Malaysian residential consumption: Energy status and prospects to introduction as a renewable power generation system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110984.