

## KADAR KESUBURAN MENGIKUT UMUR: SUATU PERBANDINGAN PERBEZAAN UFUK RAMALAN

Norkhairunnisa Redzwan  
Jabatan Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia  
Email: p105919@siswa.ukm.edu.my

Farah Adibah Suhaimi  
Jabatan Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia  
Email: farahadibahsh@gmail.com

Rozita Ramli\*  
Jabatan Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia  
Email: itaramli@ukm.edu.my  
\*Corresponding Author

---

### ABSTRAK

*Penuaan penduduk dihadapi oleh kebanyakan negara pada masa kini. Isu ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti peningkatan jangka hayat, migrasi dan pengurangan kadar kesuburan. Kadar kesuburan yang optimum ialah 2.1 yang bermaksud purata kelahiran bagi seorang wanita mampu menggantikan dirinya dan pasangan. Namun, Malaysia mencatatkan situasi yang membimbangkan sejak 2013 apabila jumlah kesuburan di negara ini di bawah paras 2.1, iaitu di bawah kadar kesuburan global. Kadar kesuburan yang rendah akan meningkatkan nisbah kebergantungan umur tua dan seterusnya mempengaruhi pertumbuhan ekonomi negara. Kajian ini memperluas aplikasi model Lee-Carter terhadap data kadar kesuburan di Malaysia. Model ini kebiasaannya digunakan dalam analisis dan ramalan data kadar kematian. Antara kelebihan model Lee-Carter adalah sifatnya yang ringkas dan parsimoni, maka, parameter-parameternya mudah diterangkan. Kajian ini bertujuan untuk menganalisa corak serta ramalan kadar kesuburan di Malaysia bagi tahun 2001 hingga 2016. Penganggaran bagi parameter umur,  $a_x$ , menunjukkan corak umum kadar kesuburan mengikut umur semakin berkurang apabila usia meningkat. Parameter  $b_x$  menunjukkan kadar kesuburan kumpulan umur 20 – 24 tahun mempunyai kepekaan yang lebih tinggi terhadap perubahan indeks kesuburan berbanding kumpulan umur 30 – 34 tahun. Parameter masa iaitu indeks kesuburan,  $k_t$ , menunjukkan corak menurun dari tahun 2001 hingga 2010. Ramalan dilakukan bagi tiga tempoh ramalan berbeza untuk menentukan model ramalan kadar kesuburan yang terbaik. Keputusan kajian menunjukkan model Lee-Carter sesuai digunakan dalam menganggar kadar kesuburan di Malaysia. Selain itu, ramalan corak kadar kesuburan pula menunjukkan corak yang semakin menurun sepanjang tempoh ramalan. Perbandingan ukuran ralat pula menunjukkan tempoh ramalan yang pendek memberikan ralat yang terkecil. Kesimpulannya, kadar kesuburan umur tertentu semakin menurun apabila tahun semakin meningkat. Hal ini boleh menyebabkan kesan negatif terhadap pembangunan negara terutama dalam menjamin pertumbuhan penduduk untuk menjana ekonomi.*

Kata Kunci: kadar kesuburan; model Lee-Carter; ramalan kesuburan.

---

### PENGENALAN

Penuaan penduduk merupakan isu yang hangat dibincangkan kini. Definisi penuaan penduduk ialah penambahan jumlah penduduk tua yang lebih tinggi berbanding kumpulan umur lain di dalam suatu populasi (United Nations ESCAP, 2020). Penduduk tua merangkumi penduduk yang berusia 60 tahun dan ke atas. Anggaran bilangan penduduk tua di negara-negara maju ialah sebanyak lebih 20 peratus daripada jumlah populasi. Manakala, bagi negara-negara berpendapatan rendah dan sederhana, anggaran penduduk tua ialah sebanyak 15 peratus daripada jumlah populasi. Menjelang tahun 2030 hingga 2050, anggaran peratusan ini dijangka bertambah dengan lebih pesat (Amalberti *et al.*, 2016). Pada tahun 2020, hampir 11% daripada populasi Malaysia ialah penduduk tua, iaitu peningkatan daripada 10.3% pada tahun sebelumnya (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2020a).

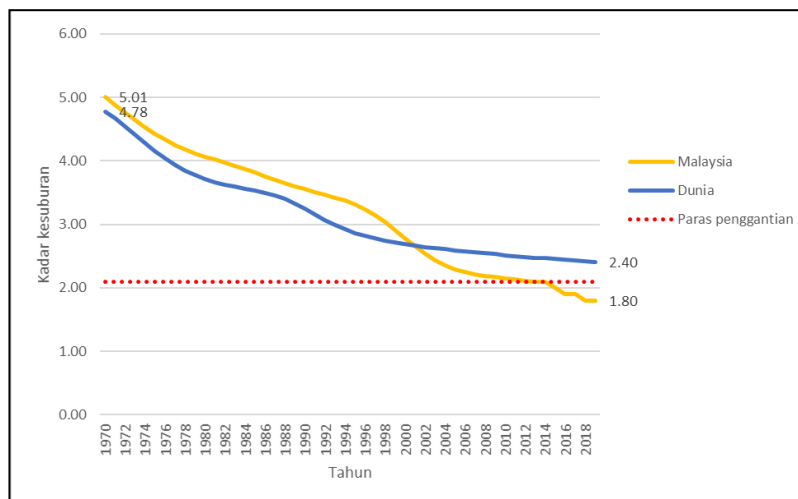
Faktor-faktor yang menyumbang kepada penuaan penduduk termasuk penurunan kadar kesuburan, peningkatan jangka hayat dan juga migrasi penduduk. Di samping itu, kemajuan bidang perubatan dan kesihatan secara tidak langsung menyumbang kepada pengurangan kadar kematian dan peningkatan jangka hayat penduduk. Peningkatan jumlah pekerja wanita dalam pasaran buruh pula merupakan antara sebab penurunan kadar kesuburan. Selain peningkatan buruh wanita, faktor seperti urbanisasi, penambahbaikan faktor sosioekonomi wanita dan akses kepada perancangan keluarga turut menjadi pendorong kepada masalah ini (United Nations ESCAP, 2020).

Kadar kesuburan sesuatu populasi bermaksud purata bilangan anak yang boleh dilahirkan oleh seseorang wanita sepanjang tempoh reproduktif iaitu antara 15 hingga 49 tahun bagi menggantikan dirinya dan pasangan bagi memastikan kesinambungan generasi pada masa akan datang (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2021; United Nations, 2020). Kadar kesuburan yang semakin berkurang merupakan indikator utama penuaan penduduk terutamanya di rantau Asia. Contohnya, negara Jepun yang dikenali sebagai negara

dengan penduduk tua mempunyai jumlah kesuburan di bawah paras penggantian sebanyak 2.1 anak bagi setiap wanita (United Nations ESCAP, 2020).

Situasi yang sama boleh dilihat di Malaysia bermula tahun 2013 apabila kadar kesuburan berada di bawah paras penggantian 2.1. Perbandingan corak kadar kesuburan antara Malaysia dan dunia (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2021; World Bank, 2021) ialah seperti Rajah 1. Rajah 1 menunjukkan corak kadar kesuburan yang semakin menurun bagi Malaysia dan dunia dari tahun 1970 hingga 2019. Walaupun kadar kesuburan dunia masih belum berada di bawah paras penggantian 2.1, namun hal yang sebaliknya berlaku bagi Malaysia bermula pada tahun 2013 (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2021; The Straits Times, 2021). Antara kesan-kesan penurunan kadar kesuburan ialah peningkatan jumlah penduduk tua di kalangan masyarakat. Hal ini menyumbang kepada pelbagai permasalahan seperti risiko kesihatan dan kebergantungan umur tua. Sebagai contoh, kajian Khoo *et al.* (2015) mendapati ramai penduduk Malaysia yang berusia 40 tahun ke atas memerlukan rawatan bagi penyakit-penyakit kronik kerana mempunyai risiko morbiditi yang tinggi.

Rajah 1. Kadar kesuburan bagi Malaysia dan dunia dari tahun 1970 hingga 2019



Selain itu, pengurangan kadar kesuburan pada tahap yang membimbangkan akan mempengaruhi nisbah kebergantungan umur tua (*old-age dependency ratio*) (Pascual-Saez *et al.*, 2020). Nilai ini merujuk kepada nisbah populasi berumur 65 tahun ke atas kepada populasi berumur antara 15 hingga 64 tahun. Secara amnya, populasi berumur antara 15 hingga 64 tahun ini merupakan kumpulan umur yang bekerja dan menyertai pasaran buruh. Oleh itu, pengurangan kadar kesuburan akan menyebabkan pengurangan populasi bekerja dan seterusnya meningkatkan nisbah kebergantungan umur tua. Jumlah populasi bekerja yang kecil tersebut perlu menyara jumlah populasi berumur 65 tahun ke atas yang semakin meningkat kerana pertambahan bilangan warga tua yang pesat berbanding populasi kumpulan umur yang lebih muda. Hal ini akan memberi kesan kepada beban ekonomi kumpulan bekerja tersebut. Manakala dalam konteks tenaga buruh wanita, kajian lepas membuktikan bahawa terdapat hubungan negatif antara kadar kelahiran dan tenaga buruh wanita (Shittu dan Abdullah, 2018; Shittu *et al.*, 2019). Langkah-langkah yang proaktif harus diambil bagi memastikan keseimbangan antara pengurusan keluarga dan kerjaya. Sehubungan itu, ramalan kadar kesuburan amat penting dilakukan bagi memastikan pertumbuhan ekonomi yang mampan bagi sesuatu negara (Ismail *et al.*, 2016; Uddin *et al.*, 2016).

Oleh yang demikian, kajian terhadap ramalan kadar kesuburan amat penting bagi tujuan memberi informasi berkaitan demografi penduduk. Cabaran dan kesan jangka masa panjang kadar kesuburan dapat dilihat dari sudut cabaran individu dan cabaran peringkat nasional. Dari sudut cabaran individu, kadar kesuburan berkait rapat dengan perbelanjaan isi rumah dan jangkaan hayat wanita. Sebagai contoh, peningkatan kemajuan kewangan dan perbelanjaan isi rumah akan memberi kesan negatif terhadap kadar kesuburan (Idris *et al.*, 2018). Kajian yang dijalankan oleh Ahmmed *et al.* (2021) yang merangkumi data dari negara Bangladesh, menyatakan bahawa kadar kesuburan mempengaruhi jangkaan hayat wanita. Kajian tersebut membuktikan bahawa penurunan kadar kesuburan serta kadar kematian kanak-kanak akan meningkatkan jangkaan hayat wanita di negara itu. Dari sudut cabaran peringkat nasional pula, kadar kesuburan berupaya mempengaruhi pertumbuhan ekonomi suatu negara (Jayadevan, 2021; Miladinov, 2021). Kajian lepas menunjukkan ketidakpastian ekonomi memberi kesan negatif terhadap kadar kesuburan di Turkey dan Greece. Kajian daripada Miladinov (2021) itu menggunakan kadar pengangguran sebagai pengukur bagi ketidakpastian ekonomi. Walaubagaimanapun, Jayadevan (2021) membuktikan bahawa penurunan kadar kesuburan, kadar kematian bayi dan nisbah kemiskinan akan memberi kesan positif terhadap pertumbuhan ekonomi.

Pelbagai fungsi matematik telah dibangunkan oleh penyelidik-penyelidik terdahulu bagi menganggar kadar kesuburan mengikut umur. Contoh fungsi-fungsi matematik yang digunakan adalah seperti model Coale-Trussell (Coale & Trussell, 1974), model polinomial (Islam, 2011) dan model spline (Schmertmann, 2003). Selain itu, kaedah Bayesian turut digunakan bagi menganggar dan meramal kadar kesuburan (Lamnisos *et al.*, 2021; Schmertmann *et al.*, 2014; Schmertmann & Hauer, 2019). Model Coale-Trussell sesuai digunakan bagi menganggar kadar kesuburan perkahwinan (*age-specific marital fertility rate*) yang digambarkan oleh kesuburan, pencegahan kehamilan dan umur semasa berkahwin (Mathivanan *et al.*, 2018). Model polinomial dan model spline pula mempunyai penggunaan yang terhad kerana parameter yang kurang sesuai digunakan bagi tujuan perbandingan (Gayawan *et al.*, 2010).

Di Malaysia, model dan fungsi matematik yang digunakan untuk menganggar kadar kesuburan termasuk Hadwiger, gamma, beta, eksponen kembar, Coale-Trussell dan Gompertz (Jemain, 2001; Mathivanan *et al.*, 2018), model data berfungsi (*functional data model*) (Shair *et al.*, 2019) dan model Lee-Carter (Hanafiah & Jemain, 2013). Perbandingan antara kajian ini dengan kajian-kajian lepas berkenaan kadar kesuburan Malaysia adalah seperti Jadual 1. Model-model seperti Hadwiger, gamma, beta, eksponen kembar dan Coale-Trussell digunakan untuk penyuaian kadar kesuburan tertentu bagi tempoh 1 tahun. Contohnya, Jemain (2001) dan Mathivanan *et al.* (2018) menggunakan jumlah kadar kesuburan mengikut tahun, manakala model Lee-Carter dan data berfungsi seperti kajian Hanafiah & Jemain (2013) dan Shair *et al.* (2019) menggunakan kadar kesuburan umur tertentu mengikut selang umur.

**Jadual 1. Perbandingan kajian-kajian berkaitan kadar kesuburan di Malaysia**

	Jemain (2001)	Mathivanan <i>et al.</i> (2018)	Hanafiah & Jemain (2013)	Shair <i>et al.</i> (2019)	Kajian ini
TUJUAN KAJIAN	Kesesuaian model-model matematik fertiliti umur tertentu.	Kesesuaian model-model matematik fertiliti umur tertentu.	Ramalan kadar kesuburan.	Perbandingan kadar kesuburan umur tertentu antara kaum.	Ramalan kadar kesuburan.
SKOP KAJIAN	Semenanjung Malaysia	Semenanjung Malaysia	Semenanjung Malaysia	Malaysia	Malaysia, Semenanjung Malaysia, Malaysia Timur
TAHUN KAJIAN	1960-1995	1996-2014	1958-2007	1958-2015	2001-2016
MODEL DIGUNAKAN	Hadwiger, gamma, beta, eksponen kembar, Coale-Trussell	Hadwiger, gama, beta, Gompertz	Lee-Carter	Model data berfungsi	Lee-Carter

Kebelakangan ini, perkembangan penggunaan Model Lee-Carter adalah sangat ketara dalam meningkatkan ketepatan nilai ramalan dan dapat dilihat dalam pelbagai kajian. Pendekatan yang digunakan bagi meramal kadar kematian dan kesuburan mengikut umur adalah kaedah semula jadi yang telah berkembang sejak dua dekad lamanya sejak pengenalan model Lee-Carter (Lee & Carter, 1992). Model Lee-Carter adalah salah satu kaedah stokastik paling berpengaruh dalam bidang ramalan kematian dan kesuburan kerana ia menyediakan kerangka pemodelan yang telus dan wajar. Model ini melibatkan dua parameter yang dikenali sebagai komponen umur dan komponen masa, dan ianya banyak digunakan terutamanya dalam menganalisis kadar kematian (Chavhan & Shinde, 2016; Safitri *et al.*, 2018; Shair *et al.*, 2017; Shang & Haberman, 2020; Zamzuri & Hui, 2020). Selain itu, kajian-kajian lepas turut menggunakan modifikasi model Lee-Carter dalam peramalan kadar kematian. Modifikasi model kematian seperti model faktor umum yang diperkukuhkan (Mohd Nor *et al.*, 2018) dan model kematian berbilang penduduk (Mohd Nor *et al.*, 2021) memberikan prestasi ramalan yang lebih tinggi dalam meramal kadar kematian Malaysia. Walaubagaimanapun, model Lee-Carter adalah yang paling banyak diguna pakai kerana kelebihan sifatnya yang ringkas dan parsimoni, maka, parameter-parameternya mudah diterangkan (Yang, 2019). Selain itu, model Lee-Carter adalah suatu model ekstrapolatif yang menggunakan data-data lepas dalam peramalan corak nilai yang dicerap untuk masa hadapan (Booth *et al.*, 2002).

Oleh itu, tujuan kajian ini adalah untuk meramalkan kadar kesuburan di Malaysia berdasarkan data kadar kesuburan mengikut umur dari tahun 2001 hingga 2016 menggunakan model Lee-Carter. Seterusnya, kajian ini bertujuan untuk membandingkan ramalan kadar kesuburan dari tahun 2011 hingga 2016 berdasarkan ufuk ramalan yang berbeza. Pendekatan model Lee-Carter yang digunakan oleh Hanafiah dan Jemain (2013) memfokuskan kepada kajian kadar kesuburan di Semenanjung Malaysia, maka, untuk memberikan analisis yang terperinci berkaitan ramalan kesuburan Malaysia, kajian ini turut mengasingkan Malaysia kepada Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur. Akhir sekali, kajian ini membandingkan antara corak kadar kesuburan dan ramalan bagi Malaysia, Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur. Kebanyakan kajian tentang kadar kesuburan tertumpu kepada negara-negara maju (Testa, 2014; Wang, 2021), oleh itu kajian ini diharap dapat memberi sedikit gambaran tentang corak kesuburan mengikut umur di negara membangun, khususnya dalam kajian ini negara Malaysia. Struktur artikel ini adalah seperti berikut: bahagian Bahan dan Kaedah menerangkan data dan model yang digunakan dalam kajian ini, bahagian Keputusan dan Perbincangan menerangkan dan membincangkan hasil dapatan kajian, seperti anggaran parameter dan ralat ramalan. Akhir sekali, bahagian Kesimpulan memberi kesimpulan berkaitan keseluruhan artikel ini.

## BAHAN DAN KAEDAH

Kajian ini menggunakan data kadar kesuburan mengikut umur di Malaysia yang diperolehi daripada laman web Jabatan Perangkaan Malaysia. Data yang digunakan merangkumi kadar kesuburan mengikut umur untuk tahun 2001 hingga 2016. Analisis terperinci turut dilakukan bagi mengkaji perbandingan corak kadar kesuburan antara Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur. Malaysia Timur diwakili oleh negeri Sarawak dan Wilayah Persekutuan Labuan sahaja kerana kekangan data kadar kesuburan bagi negeri Sabah. Walaubagaimanapun, data kadar kesuburan peringkat Malaysia adalah termasuk Sabah.

Data tersebut terbahagi kepada 7 kumpulan umur dari 15 tahun hingga 49 tahun dengan selang umur 5 tahun. Tempoh kajian pula dibahagikan kepada tempoh penganggaran dan tempoh ramalan. Tempoh penganggaran ialah dari tahun 2001 hingga 2010, manakala tempoh ramalan ialah dari tahun 2011 hingga 2016. Sepanjang tempoh ramalan tersebut, ramalan kadar kesuburan dilakukan terhadap 3 ufuk ramalan berbeza iaitu 1, 3 dan 6 tahun. Oleh kerana tempoh maksimum ramalan ialah 6 tahun, nilai-nilai ini dipilih bagi melambangkan tempoh minimum (1 tahun), pertengahan (3 tahun) dan maksimum (6 tahun) ramalan. Perbandingan ralat ramalan turut dilakukan bagi Malaysia, Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur.

Model Lee-Carter adalah model ramalan stokastik yang digunakan dengan meluas dalam peramalan kadar kematian (Chavhan & Shinde, 2016; Safitri *et al.*, 2018; Shair *et al.*, 2017; Shang & Haberman, 2020) dan kadar kesuburan (Hanafiah & Jemain, 2013). Bagi pemodelan kadar kesuburan menggunakan model Lee-Carter,  $f_{x,t}$  mewakili kadar kesuburan mengikut kumpulan umur  $x$  dan tahun  $t$ , dan model tersebut adalah seperti berikut:

$$\ln(f_{x,t}) = a_x + b_x k_t + \varepsilon_{x,t} \quad (1)$$

yang mana  $x$  = kumpulan umur dan  $t = 2001, \dots, 2010$

Parameter  $a_x$  ialah purata kadar kesuburan mengikut umur,  $k_t$  ialah indeks kesuburan pada tahun  $t$  dan  $b_x$  ialah pekali yang mengukur kepekaan log kadar kesuburan mengikut umur untuk kumpulan umur  $x$  bagi setiap 1 unit perubahan dalam kadar kesuburan pada tahun  $t$ . Nilai anggaran  $a_x$  atau  $\hat{a}_x$  akan memberi corak umum bagi purata logaritma kadar kesuburan mengikut umur,  $\ln(f_{x,t})$ . Nilai anggaran  $k_t$  atau  $\hat{k}_t$  ialah indeks yang menerangkan variasi tahap kesuburan pada masa  $t$ . Seterusnya,  $\hat{b}_x$  pula akan menerangkan kecenderungan perubahan kadar kesuburan pada usia  $x$  terhadap perubahan dalam kadar kesuburan pada tahun  $t$ . Bagi semua nilai  $x$  dan  $t$ , ralat rawak  $\varepsilon_{x,t}$  ialah pemboleh ubah rawak dengan taburan normal yang tertabur secara secaman dan tak bersandar dengan min 0 dan varians  $\sigma^2$ . Penganggaran parameter tertakluk kepada kekangan seperti persamaan (2) dan (3). Had bagi persamaan (2) merupakan kumpulan umur yang bermula dari kumpulan pertama, (15 – 19), sehingga kumpulan terakhir, (45 – 49).

$$\sum_{x=(15-19)}^{(45-49)} b_x = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{t=2001}^{2010} k_t = 0 \quad (3)$$

Persamaan (3) dan meminimumkan ralat seterusnya menghasilkan purata kadar kesuburan mengikut umur yang diwakili oleh parameter  $a_x$  seperti dalam persamaan (4).

$$\hat{a}_x = \frac{\sum_{t=2001}^{2010} \ln f_{x,t}}{2010 - 2001 + 1} \quad (4)$$

Bagi tujuan penganggaran parameter, tiga matriks diperkenalkan iaitu matriks  $F$ ,  $Y$  dan  $Z$ . Elemen-elemen didalam matriks  $F$  ialah kadar kesuburan,  $f_{x,t}$  bagi  $x$  kumpulan umur dan tahun  $t$ . Elemen-elemen dalam matriks  $Y$  adalah logaritma asli bagi setiap elemen dalam matriks  $F$  yang digunakan untuk menganggar parameter  $a_x$ , dan persamaan (4) merupakan purata kepada baris dalam matriks  $Y$ . Matriks  $Z$  pula digunakan untuk menganggar parameter  $b_x$  dan  $k_t$ . Elemen-elemen dalam matriks  $Z$  merupakan hasil tolak  $\hat{a}_x$  daripada setiap elemen kumpulan umur  $x$  bagi matriks  $Y$ . Oleh itu, setiap matriks  $F$ ,  $Y$  dan  $Z$  mempunyai jumlah baris dan lajur yang sama, iaitu  $N$  baris dan 10 lajur.  $N$  baris mewakili bilangan kumpulan umur, manakala 10 lajur mewakili bilangan tahun dari 2001 sehingga 2010. Elemen-elemen di dalam matriks  $Z$  ialah  $z_{x,t} = \ln(f_{x,t}) - \hat{a}_x$ , dan kekangan (3) telah dipenuhi.

Kaedah penguraian nilai tunggal kemudian digunakan untuk menganggar parameter-parameter  $b_x$  dan  $k_t$ . Parameter-parameter ini tertakluk kepada kekangan seperti persamaan (2) dan (3). Oleh kerana nilai  $N$  dan 10 berbeza, penguraian nilai tunggal terkurang (*reduced singular value decomposition* atau RSVD) dijalankan ke atas matriks  $Z$  bagi menganggar  $b_x$  dan  $k_t$ .

Nilai maksimum bagi pangkat matriks  $Z$  ialah  $l = \min\{N, 10\}$ , ini bermaksud pangkat matriks  $Z$  merupakan nilai yang lebih kecil di antara  $N$  dan 10. Penguraian nilai tunggal terkurang terhadap matriks  $Z$  adalah seperti berikut:

$$Z = U\Sigma V^T \quad (5)$$

$$Z \xrightarrow{RSVD} U_{N \times l}, \Sigma_{l \times l}, V_{10 \times l} \quad (6)$$

Matriks  $U$  dan  $V$  mengandungi vektor tunggal yang ortogonal dan ortonormal.  $\Sigma$  ialah matriks pepenjuru dengan elemen-elemen  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{l-1}, \sigma_l$ . Kuasa dua elemen-elemen ini merupakan nilai eigen kepada vektor eigen  $U$  dan  $V$ , dan disusun mengikut tertib menurun  $\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_{l-1} > \sigma_l$ . Penguraian nilai tunggal terkurang berpangkat penuh diberikan dalam persamaan (7), yang mana  $u_{i,j}$  dan  $v_{i,j}$  masing-masing merupakan baris ke- $i$  dan lajur ke- $j$  bagi elemen matriks  $U$  dan  $V$ .

$$z_{x,t} = \sigma_1 u_{x,1} v_{t,1} + \sigma_2 u_{x,2} v_{t,2} + \dots + \sigma_{l-1} u_{x,l-1} v_{t,l-1} + \sigma_l u_{x,l} v_{t,l} \quad (7)$$

Persamaan (7) menghasilkan elemen pada baris  $x$  dan lajur  $t$ , manakala persamaan (5) memberikan kesemua elemen matriks  $Z$ . Model Lee-Carter menggunakan penguraian nilai tunggal terkurang pangkat pertama, oleh itu setiap elemen dianggarkan dengan menggunakan persamaan (8).

$$\hat{z}_{x,t} = \sigma_1 u_{x,1} v_{t,1} \quad (8)$$

Sebelah kiri persamaan (8) merujuk kepada hasil darab  $\hat{b}_x$  dan  $\hat{k}_t$ , yang mana kekangan (2) digunakan untuk menilai setiap parameter anggaran.

$$\hat{b}_x = \frac{u_{x,1}}{\sum_{x=1}^X u_{x,1}} \quad (9)$$

$$\hat{k}_t = \sigma_1 v_{t,1} \sum_{x=1}^X u_{x,1} \quad (10)$$

yang mana  $X$  ialah kumpulan umur terakhir.

Justeru, berdasarkan persamaan (1), model kadar kesuburan adalah seperti berikut:

$$\hat{f}_{x,t} = e^{(\hat{a}_x + \hat{b}_x \hat{k}_t)} \quad (11)$$

Proses ramalan seterusnya adalah dengan mengaplikasikan anggaran indeks kesuburan. Kaedah ramalan piawai melalui proses ARIMA (0,1,0) digunakan dalam kajian ini (Mohd Nor, 2018). ARIMA (0,1,0) juga dikenali sebagai model perjalanan rawak dengan hanyutan. Unjuran  $k_t$  dinyatakan seperti persamaan (5) dengan mengambil kira terma hanyutan,  $c$  dan ralat rawak,  $\varepsilon_t$ . Peramalan kadar kesuburan seterusnya dijalankan pada tiga tahap persentil yang berbeza iaitu 5%, 50% dan 95%. Seterusnya, nilai ramalan  $k_t$  dan anggaran  $a_x$  dan  $b_x$  kemudian boleh digunakan untuk mengira ramalan kadar kesuburan mengikut umur.

$$k_t = k_{t-1} + c + \varepsilon_t \quad (12)$$

Akhir sekali, ramalan kadar kesuburan mengikut umur untuk  $s$  tahun boleh didapati daripada persamaan (13). Peramalan kadar kesuburan dijalankan terhadap 3 ufuk ramalan yang berbeza iaitu 1, 3 dan 6 tahun. Ini dilakukan untuk mengkaji kebolehpercayaan ramalan terhadap ufuk yang berbeza (Hanafiah & Jemain, 2013).

$$\hat{f}_{x,t+s} = \exp(\hat{a}_x + \hat{b}_x \hat{k}_{t+s}) \quad (13)$$

Berdasarkan persamaan (13),  $t$  ialah tahun terakhir data yang dicerap dan  $s$  ialah ufuk ramalan. Manakala,  $\hat{k}_t$  yang digunakan ialah persentil ke-50 iaitu median. Perbezaan antara nilai ramalan dan nilai sebenar kadar kesuburan, iaitu ralat ramalan, diukur untuk menilai ketepatan ramalan (Hong *et al.*, 2021). Pengukuran ini dilakukan bagi tiga ufuk ramalan yang berbeza iaitu pada tahun 2011, 2013 dan 2016. Penilaian ketepatan ramalan ini adalah berdasarkan Min Ralat (MR), Min Ralat Kuasa Dua (MRKD) dan Min Ralat Peratus Mutlak (MRPM). Ukuran-ukuran ralat ramalan tersebut diberikan dalam persamaan (7), (8) dan (9) (Hanafiah & Jemain, 2013).

$$MR = \frac{1}{M} \sum_{x=x_0}^A \frac{1}{T - T_0 + 1} \sum_{t=T_0}^T (f_{x,t} - \hat{f}_{x,t}) \quad (14)$$

$$MRKD = \frac{1}{M} \sum_{x=x_0}^A \frac{1}{T - T_0 + 1} \sum_{t=T_0}^T (f_{x,t} - \hat{f}_{x,t})^2 \quad (15)$$

$$MRPM = \frac{1}{M} \sum_{x=x_0}^A \frac{1}{T - T_0 + 1} \sum_{t=T_0}^T \frac{|f_{x,t} - \hat{f}_{x,t}|}{|f_{x,t}|} \times 100 \quad (16)$$

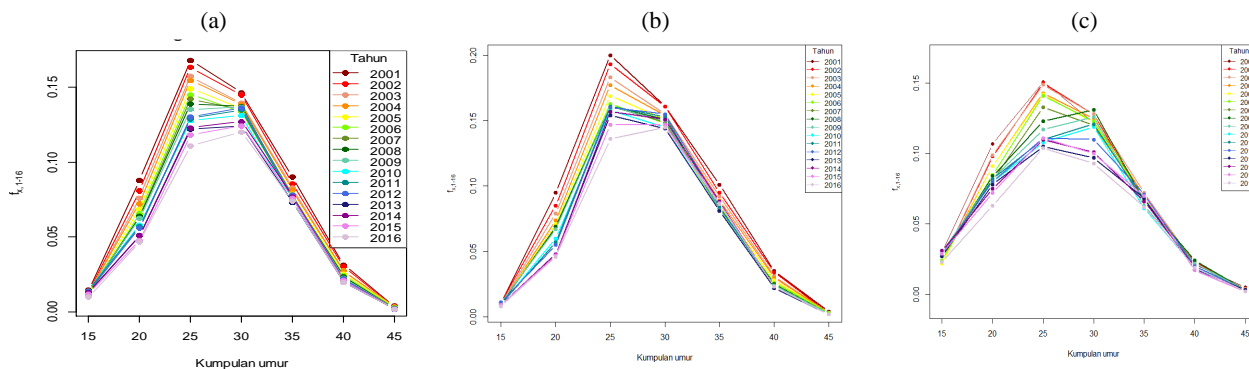
Bagi persamaan (14), (15) dan (16),  $f_{x,t}$  merupakan nilai sebenar,  $\hat{f}_{x,t}$  merupakan nilai ramalan,  $x_0$  dan  $A$  masing-masing merupakan kumpulan umur yang pertama dan terakhir dalam peramalan,  $T_0$  dan  $T$  masing-masing merupakan tahun terawal dan terakhir dalam ufuk ramalan, dan akhir sekali  $M$  mewakili bilangan kumpulan umur bermula dari kumpulan pertama ( $x_0$ ) sehingga kumpulan terakhir ( $A$ ). Dalam kajian ini,  $x_0$  dan  $A$  masing-masing mewakili kumpulan umur 15 – 19 tahun dan 45 – 49 tahun. Oleh kerana terdapat keadaan yang hanya memerlukan sebahagian sahaja kumpulan umur (contohnya kumpulan umur 40 tahun ke atas),  $x_0$  dan  $A$  boleh membentuk sebarang subset daripada keseluruhan kumpulan umur, justeru  $M \leq N$ . Ralat ramalan diukur berdasarkan tiga ufuk ramalan yang dinyatakan di atas dan nilai ukuran ralat ramalan yang kecil mencerminkan ramalan yang lebih baik.

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Rajah 2 menunjukkan perbandingan corak kadar kesuburan bagi Malaysia, Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur dari tahun 2001 hingga 2016. Berdasarkan Rajah 2, dapat diperhatikan bahawa kadar kesuburan adalah paling tinggi pada tahun 2001 dan semakin menurun pada tahun-tahun berikutnya bagi ketiga-tiga kawasan ini. Juga jelas diperhatikan bahawa pada tahun 2001 hingga 2008, kumpulan umur 25 – 29 tahun mempunyai kadar kesuburan yang tertinggi bagi tiap-tiap tahun di Malaysia. Walau bagaimanapun, kelihatan bahawa kadar kesuburan yang tertinggi adalah pada kumpulan umur 30 – 34 tahun bermula dari tahun 2009 hingga 2016. Kadar kesuburan bagi kumpulan umur yang terendah adalah bagi kumpulan umur 45 – 49 tahun, diikuti dengan kumpulan umur 15 – 19 tahun untuk kedua terendah. Negeri yang mempunyai kadar kesuburan yang tinggi di Malaysia ialah negeri Kelantan (dari tahun 2001 hingga 2015) dan Terengganu (tahun 2016). Manakala, negeri yang mempunyai kadar kesuburan terendah ialah Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur (dari tahun 2001 hingga 2012), Pulau Pinang (dari tahun 2013 hingga 2015) dan Sabah (tahun 2016).

Bagi Semenanjung Malaysia pula, kadar kesuburan tertinggi adalah dari kumpulan umur 25 – 29 tahun bagi tempoh 2001 hingga 2015. Pada tahun 2016, kadar kesuburan tertinggi adalah dicatatkan oleh kumpulan umur 30 – 34 tahun. Corak kadar kesuburan yang berbeza dapat dilihat di Malaysia Timur. Kumpulan umur 25 – 29 tahun mempunyai kadar kesuburan tertinggi hanya bagi tahun 2001 hingga 2007 dan 2013 hingga 2016. Kumpulan umur 30 – 34 tahun mempunyai kadar kesuburan tertinggi dari tahun 2008 hingga 2011. Perbezaan kadar kesuburan mengikut umur bergantung kepada beberapa faktor seperti faktor usia, sosioekonomi, perbezaan kumpulan etnik, pertumbuhan ekonomi dan sebagainya. Kadar kesuburan yang menurun turut memberi kesan kepada saiz purata isi rumah yang semakin kecil. Purata saiz isi rumah pada tahun 2017 ialah 4.2 orang berbanding 5.2 orang pada tahun 1980 (UNICEF, 2020).

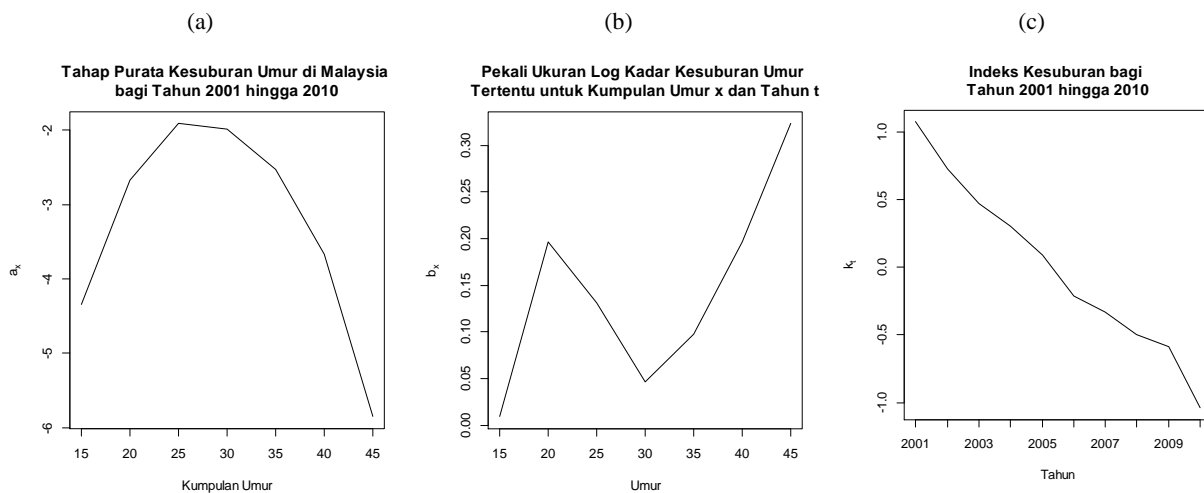
**Rajah 2. Kadar kesuburan mengikut umur bagi tahun 2001 hingga 2016 di (a) Malaysia, (b) Semenanjung Malaysia dan (c) Malaysia Timur**



Secara purata, kadar kesuburan semakin menurun dari tahun 2001. Menurut Jabatan Perangkaan Malaysia (2021), statistik menunjukkan kadar kesuburan pasangan di Malaysia semakin merosot sehingga mencecah 1.8 pada tahun 2019. Hal ini kerana, ramai wanita berkahwin pada usia lewat menyebabkan tahap kesuburan serta peluang mendapatkan anak menurun berdasarkan faktor usia terutama mereka yang melebihi 35 tahun (Mahmud *et al.*, 2012). Faktor-faktor sosioekonomi lain seperti tahap pendidikan dan kadar penyertaan tenaga buruh wanita turut menyumbang kepada perubahan kadar kesuburan wanita di Malaysia (Mahmud *et al.* 2012; Shittu & Abdullah 2018; Testa 2014). Jumlah penyertaan wanita dalam tenaga buruh yang semakin meningkat antara punca kadar kesuburan yang semakin menurun (Shittu *et al.*, 2019). Contoh inisiatif-inisiatif kerajaan Malaysia yang menggalakan penyertaan wanita dalam pasaran pekerjaan seperti Women Exporters Development Programme (WEDP) anjuran MATRADE dan juga program kemahiran I-KeuNita WANITA (I-KeuNITA) anjuran Kementerian Pembangunan Wanita, Keluarga dan Masyarakat (KPWKM) (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2020b).

Selain itu, perbezaan kumpulan etnik turut mempengaruhi kadar kesuburan mengikut umur di Malaysia. Menurut kajian Shair *et al.* (2019) dari tahun 1958 hingga 2015, kadar kesuburan mengikut umur bagi etnik Cina dan India menurun dengan lebih pantas berbanding etnik Melayu. Pada tahun 2015, jumlah kelahiran bagi seorang wanita Melayu ialah sebanyak 1.59 orang bayi, manakala jumlah kelahiran bagi seorang wanita Cina ialah 0.7 bayi. Plot anggaran parameter-parameter bagi model Lee-Carter diberikan dalam Rajah 3 (a), (b) dan (c).

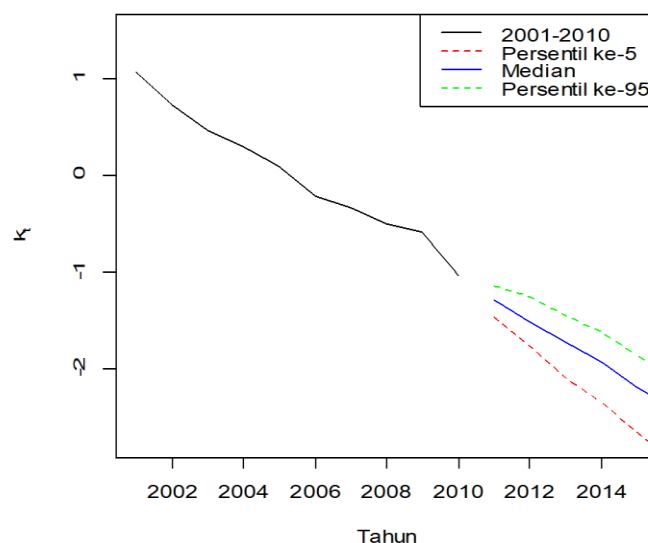
Rajah 3. Parameter Model Lee-Carter bagi penganggaran kadar kesuburan mengikut umur



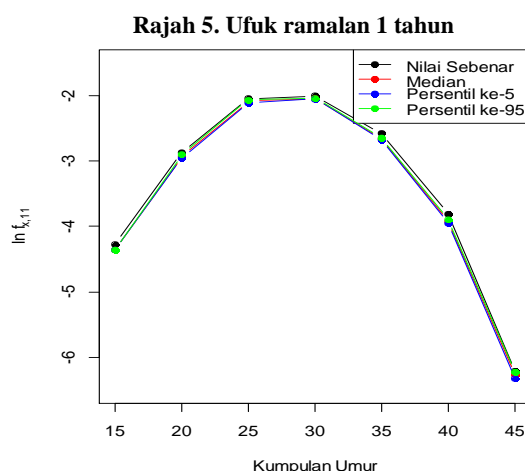
Rajah 3 menunjukkan plot anggaran-anggaran bagi tiga parameter model Lee-Carter, iaitu  $a_x$ ,  $b_x$  dan  $k_t$  bagi kadar kesuburan di Malaysia. Rajah 3 (a) menunjukkan penganggaran bagi  $a_x$  yang memberi gambaran corak umum kadar kesuburan mengikut umur. Bentuk  $\hat{a}_x$  seperti aksara U songsang menerangkan bahawa kadar kesuburan mengikut umur semakin berkurang apabila usia meningkat. Parameter  $\hat{a}_x$  lebih rendah pada kumpulan umur 15 – 19, 40 – 44 dan 45 – 49. Sementara itu, kesuburan yang lebih tinggi dicatat untuk wanita dalam kumpulan umur 20 – 24. Parameter  $b_x$  merujuk kepada kepekaan  $\ln(f_{x,t})$  mengikut perubahan indeks kesuburan. Berdasarkan Rajah 3 (b), nilai tertinggi adalah pada kumpulan umur 45 – 49 tahun diikuti kumpulan umur 20 – 24 tahun. Dapatan yang serupa ditunjukkan bagi Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur. Selain itu, dapat diperhatikan bahawa nilai bagi setiap kumpulan umur adalah berbeza. Contohnya, kadar kesuburan kumpulan umur 20 – 24 tahun mempunyai kepekaan yang lebih tinggi terhadap perubahan indeks kesuburan berbanding kumpulan umur 30 – 34 tahun. Indeks kesuburan yang sesuai,  $\hat{k}_t$  menunjukkan corak menurun dari tahun 2001 hingga 2010 seperti Rajah 3 (c). Walau bagaimanapun, plot indeks kesuburan menurun dengan lebih curam pada tahun 2009 hingga 2010. Dapatan kajian ini selari dengan dapatan kajian Lee (1993) terhadap kadar kesuburan Amerika Syarikat yang menyatakan bahawa suaian model pada usia muda adalah lebih sesuai berbanding umur tua.

Seterusnya, kajian ini meramalkan indeks kesuburan bagi tempoh ramalan 2011 hingga 2016. Ramalan  $k_t$  dilakukan dengan model ARIMA (0,1,0) iaitu model perjalanan rawak dengan hanyutan dengan nilai hanyutan -0.2351 dan sisihan piawai 0.0112. Plot ramalan  $k_t$  ditunjukkan seperti Rajah 4. Rajah 4 menunjukkan corak ramalan yang dihasilkan untuk jangka masa 6 tahun pada nilai-nilai persentil 5%, 50% (median) dan 95% dengan selang keyakinan 90%. Secara keseluruhannya, ketiga-tiga persentil menunjukkan corak ramalan menurun dari tahun 2011 hingga 2016-

Rajah 4. Ramalan indeks kesuburan di Malaysia bagi tahun 2011 hingga 2016



Nilai sebenar kadar kesuburan mengikut umur hampir sama dengan nilai ramalan bagi ketiga-tiga ufuk ramalan iaitu 1, 3 dan 6 tahun. Corak bagi setiap rajah juga menunjukkan bentuk lengkungan ke atas dengan kadar kesuburan tertinggi direkodkan bagi kumpulan umur antara 25 – 34 tahun dan kadar kesuburan terendah bagi kumpulan umur 45 – 49 tahun. Contoh ramalan jangka masa pendek bagi ufuk ramalan 1 tahun bagi Malaysia ialah seperti ditunjukkan dalam Rajah 5. Ini menunjukkan model Lee-Carter sesuai digunakan untuk ramalan kadar kesuburan mengikut umur bagi ufuk ramalan yang pendek.



Seterusnya, Min Ralat (MR), Min Ralat Kuasa Dua (MRPM) dan Min Ralat Peratus Mutlak (MRPM) diukur untuk mencari ketepatan ramalan bagi ketiga-tiga ufuk ramalan seperti dalam Jadual 2. Jadual 2 menunjukkan jangka masa ramalan 1 tahun mempunyai nilai ralat terkecil, manakala nilai ralat terbesar diperoleh bagi tempoh ramalan 6 tahun bagi ketiga-tiga ukuran ralat ramalan. Kesimpulannya, semakin panjang tempoh ufuk ramalan, semakin tinggi nilai perbezaan antara nilai sebenar dan nilai ramalan kadar kesuburan bagi Malaysia (MAS), Semenanjung Malaysia (SM) dan Malaysia Timur (MT). Dapatan bagi Semenanjung Malaysia dalam kajian ini konsisten dengan Hanafiah & Jemain (2013) walaupun berbeza tahun kajian. Hanafiah & Jemain (2013) turut merekodkan bahawa tempoh ufuk ramalan yang lebih pendek memberikan ketepatan yang lebih tinggi berbanding ufuk ramalan jangka masa panjang. Dapatan ini juga disokong oleh kajian Hyndman dan Ullah (2007) yang menggunakan model Lee-Carter bagi ufuk ramalan yang berbeza.

**Jadual 2a. Ketepatan ramalan kadar kesuburan umur tertentu bagi ufuk ramalan 1 tahun**

Ralat	1 tahun		
	MAS	SM	MT
Min ralat	0.0032	0.0029	-0.0046
Min ralat kuasa dua	$1.41 \times 10^{-5}$	$2.65 \times 10^{-5}$	$8.89 \times 10^{-5}$
Min ralat peratus mutlak	6.31%	5.40%	8.83%

**Jadual 2b. Ketepatan ramalan kadar kesuburan umur tertentu bagi ufuk ramalan 3 tahun**

Ralat	3 tahun		
	MAS	SM	MT
Min ralat	0.0034	0.0036	-0.0065
Min ralat kuasa dua	$2.12 \times 10^{-5}$	$4.15 \times 10^{-5}$	$1.48 \times 10^{-4}$
Min ralat peratus mutlak	7.90%	8.89%	11.89%

**Jadual 2c. Ketepatan ramalan kadar kesuburan umur tertentu bagi ufuk ramalan 6 tahun**

Ralat	6 tahun		
	MAS	SM	MT
Min ralat	0.0037	0.0047	-0.0079
Min ralat kuasa dua	$2.91 \times 10^{-5}$	$6.24 \times 10^{-5}$	$1.82 \times 10^{-4}$
Min ralat peratus mutlak	10.81%	12.63%	14.04%

Selain itu, semakin panjang tempoh ufuk ramalan, semakin besar julat ralat antara Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur. Dapatan ini konsisten dengan Smith & Sincich (1991), Fye *et al.* (2013) dan Mentzer & Cox (1984) yang menyatakan bahawa ketepatan ramalan dipengaruhi oleh tempoh ufuk ramalan. Ufuk ramalan yang pendek mempunyai ketepatan ramalan lebih tinggi berbanding ufuk ramalan yang lebih panjang. Ini kerana ketepatan ramalan siri masa dipengaruhi oleh ciri-ciri siri masa tersebut seperti ciri rawak dan berkitar (Petropoulos *et al.*, 2014). Nilai ralat ramalan juga turut berbeza mengikut kawasan. Malaysia Timur mempunyai ralat ramalan yang lebih tinggi berbanding Semenanjung Malaysia untuk ketiga-tiga ufuk ramalan. Ini kerana Semenanjung Malaysia mempunyai saiz data yang lebih besar berbanding Malaysia Timur. Laporan Banci Penduduk dan Perumahan Malaysia 2010 merekodkan jumlah wanita dalam kumpulan umur 15 – 49 tahun di Semenanjung Malaysia seramai



10.5 juta orang, manakala kumpulan umur yang sama di Malaysia Timur ialah seramai 1.6 juta orang (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2010). Oleh yang demikian, semakin besar saiz data, semakin kecil nilai margin ralat kerana kebolehpercayaan penyuain model dipengaruhi oleh saiz data (Asiamah *et al.*, 2017).

## KESIMPULAN

Penuaan penduduk merupakan isu yang dihadapi oleh kebanyakan negara. Faktor-faktor yang menyumbang kepada penuaan penduduk termasuk penurunan kadar kesuburan, peningkatan jangka hayat dan migrasi penduduk. Selain peningkatan jumlah tenaga buruh wanita dalam pasaran buruh, faktor seperti urbanisasi, penambahbaikan faktor sosioekonomi wanita dan akses kepada perancangan keluarga turut menyumbang kepada masalah ini. Di Malaysia, bermula tahun 2013, kadar kesuburan direkodkan di bawah paras penggantian yang ditetapkan iaitu 2.1 yang bermaksud purata kelahiran di Malaysia tidak cukup untuk menggantikan wanita tersebut dan pasangannya. Perkara ini akan menyebabkan isu seperti kenaikan nisbah kebergantungan umur tua, penurunan kadar pertumbuhan ekonomi dan sebagainya. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk mengemas kini kajian lepas yang dijalankan oleh Hanafiah dan Jemain (2013) dalam menganalisa corak dan ramalan kadar kesuburan mengikut umur di Malaysia.

Kajian ini turut memperluas aplikasi model Lee-Carter terhadap data kadar kesuburan di Malaysia. Model ini kebiasaannya digunakan dalam analisis dan ramalan data kadar kematian. Kajian ini menggunakan Model Lee-Carter untuk menganalisa dan meramal data kadar kesuburan mengikut umur di Malaysia bagi tahun 2001 hingga 2016. Model ini berasaskan log kadar kesuburan dan komponen anggaran masa diunjurkan menggunakan ARIMA (0,1,0) untuk tujuan peramalan kadar kesuburan masa hadapan. Keputusan menunjukkan bahawa kadar kesuburan semakin menurun dengan masa. Secara keseluruhannya, model Lee-Carter sesuai digunakan dalam menganggar kadar kesuburan mengikut umur di Malaysia. Di samping itu, ramalan kadar kesuburan mengikut umur menunjukkan kemerosotan yang berlaku dalam tempoh 6 tahun mulai tahun 2011 hingga 2016. Kajian ini juga mendapati bahawa semakin jauh jarak ramalan daripada data yang sebenar, semakin tinggi jumlah ralat yang terhasil. Ukuran ralat membuktikan bahawa ramalan bagi jangka masa 6 tahun, iaitu tahun paling jauh daripada data asal, menunjukkan ralat yang paling tinggi, tetapi ramalan bagi jangka masa 1 tahun menunjukkan ralat yang paling rendah. Dapatan kajian ini menunjukkan ketepatan ramalan dipengaruhi oleh ciri-ciri siri masa tersebut seperti ciri rawak dan berkitar dan juga saiz data yang berbeza bagi Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur.

Secara kesimpulan, didapati bahawa kadar kesuburan umur tertentu semakin menurun dengan peningkatan tahun. Selain daripada berkahwin pada usia yang lewat, faktor-faktor sosioekonomi lain seperti tahap pendidikan dan kadar penyertaan tenaga buruh wanita turut menyumbang kepada perubahan kadar kesuburan wanita di Malaysia. Kadar kesuburan yang menurun turut memberi kesan kepada saiz purata isi rumah yang semakin kecil. Penurunan seperti ini boleh menyebabkan kesan negatif terhadap pembangunan negara dari segi pertumbuhan penduduk untuk menjana sektor ekonomi. Skop kajian ini hanya meliputi data kadar kesuburan di Malaysia. Oleh yang demikian, pada masa akan datang, kajian ini boleh dikemas kini dengan menganalisa perbandingan corak dan ramalan kadar kesuburan antara negara-negara membangun serantau.

## PENGHARGAAN

Penghargaan diucapkan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas pembiayaan Geran Penyelidikan: GGPM-2019-066.

## RUJUKAN

- Ahmed, M. M., Babu, M. A., Hoque, M. A., & Rahman, M. M. (2021). A PLS-SEM approach to connect fertility, GDP, and childhood mortality with female life expectancy (FLE) in Bangladesh. *AIUB Journal of Science and Engineering (AJSE)*, 20(4), 151–157.
- Amalberti, R., Nicklin, W., & Braithwaite, J. (2016). Preparing national health systems to cope with the impending tsunami of ageing and its associated complexities: Towards more sustainable health care. *International Journal for Quality in Health Care*, 28(3), 412–414.
- Asiamah, N., Mensah, H. K., Fosu Oteng-Abayie, E., & Kofi Mensah, H. (2017). Do larger samples really lead to more precise estimates? A simulation study. *American Journal of Educational Research*, 5(1), 9–17.
- Booth, H., Maindonald, J., & Smith, L. (2002). Applying Lee-Carter under conditions of variable mortality decline. *Population Studies*, 56(3), 325–336.
- Chavhan, R. N., & Shinde, R. L. (2016). Modeling and forecasting mortality using the Lee-Carter Model for Indian population based on decade-wise data. *Sri Lankan Journal of Applied Statistics*, 17(1), 51.
- Coale, A.J., & Trussell, T.J. (1974). Model fertility schedules: variations in the age structure of childbearing in human populations. *Population index*, 40(2), 185–258.
- Fye, S. R., Charbonneau, S. M., Hay, J. W., & Mullins, C. A. (2013). An examination of factors affecting accuracy in technology forecasts. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(6), 1222–1231.
- Gayawan, E., Adebayo, S. B., Ipinoyomi, R. A., & Oyejola, B. A. (2010). Modeling fertility curves in Africa. *Demographic Research*, 22, 211–236.
- Hanafiah, H., & Jemain, A. A. (2013). Structural modeling of age specific fertility curves in Peninsular Malaysia: An approach of Lee Carter method. *AIP Conference Proceedings*, 1571(December 2013), 1062–1068.
- Hong, W. H., Yap, J. H., Selvachandran, G., Thong, P. H., & Son, L. H. (2021). Forecasting mortality rates using hybrid Lee-Carter model, artificial neural network and random forest. *Complex & Intelligent Systems*, 7(1), 163–189.

- Hyndman, R. J., & Ullah, M. S. (2007). Robust forecasting of mortality and fertility rates: A functional data approach. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51(10), 4942-4956.
- Idris, A. R., Habibullah, M. S., & Din, B. H. (2018). Does financial development contribute to fertility decline in Malaysia? An empirical investigation. *Jurnal Ekonomi Malaysia*, 52(1), 209-221.
- Islam, M. R. (2011). Modeling of age specific fertility rates of Jakarta in Indonesia: A polynomial model approach. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2(11), 1-5.
- Ismail, N. W., Rahman, S. W. A., Hamid, T. A. T. A., & Said, R. (2016). Aging and economic growth: Empirical analysis using Autoregressive Distributed Lag approach. *Sains Malaysiana*, 45(9), 1345-1350.
- Jabatan Perangkaan Malaysia. (2010). Banci penduduk dan perumahan Malaysia: Taburan penduduk dan ciri-ciri asas demografi 2010.
- Jabatan Perangkaan Malaysia. (2020a). Anggaran penduduk semasa, Malaysia, 2020.
- Jabatan Perangkaan Malaysia. (2020b). Penyertaan Wanita dalam Ekonomi. *Newsletter Banci Penduduk & Perumahan Malaysia 2020*, Siri 37.
- Jabatan Perangkaan Malaysia. (2021). Perangkaan penting, Malaysia, 2021.
- Jayadevan, C. M. (2021). Impacts of health on economic growth: evidence from structural equation modelling. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 5 (2), 513-522.
- Jemain, A. A. (2001). Menjejak fungsi matematik kadar fertiliti umur tertentu untuk kelahiran di Semenanjung Malaysia. *Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society*, 24(2), 137-148.
- Khoo, E. M., Cheong, A. T., Liew, S. M., Lee, W. K., Abdol Samad, A., Mohd Hanafiah, A. N., & Sararaks, S. (2015). The changing face of primary care: A cross sectional study in Malaysia. *Sains Malaysiana*, 44(5), 741-746.
- Lamnisis, D., Giannakou, K., & Jakovljevic, M. (2021). Demographic forecasting of population aging in Greece and Cyprus: one big challenge for the Mediterranean health and social system long-term sustainability. *Health Research Policy and Systems*, 19(1), 1-9.
- Lee, R. D., & Carter, L. R. (1992). Modeling and forecasting US mortality. *Journal of the American Statistical Association*, 87(419), 659-671.
- Lee, R. D. (1993). Modeling and forecasting the time series of US fertility: Age distribution, range, and ultimate level. *International Journal of forecasting*, 9(2), 187-202.
- Mahmud, A., Azman, N. A. A., Aziz, A., & Ismail, N. (2012). Keinginan Kesuburan. Diambil daripada: <http://familyrepository.lppkn.gov.my>
- Mathivanan, N. M. N., Ab Ghani, P., & Md. Ghani, N. A. (2018). Tracing mathematical function of age specific fertility rate in Peninsular Malaysia. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 9(3), 637.
- Mentzer, J. T., & Cox, J. E. (1984). Familiarity, application, and performance of sales forecasting techniques. *Journal of Forecasting*, 3(1), 27-36.
- Miladinov, G. (2021). Impact of unemployment by sex and marriage rate on fertility decline: Estimates for Turkey and Greece using CCR model. *Population and Economics*, 5(3), 76-89.
- Mohd Nor, S. R., Yusof, F., & Bahar, A. (2018). Multi-population mortality model: A practical approach. *Sains Malaysiana*, 47(6), 1337-1347.
- Mohd Nor, S. R., Yusof, F., & Norulashikin, S. M. (2021). Coherent mortality model in a state-space approach. *Sains Malaysiana*, 50(4), 1101-1111.
- Pascual-Saez, M., Cantarero-Prieto, D., & Pires Manso, J. R. (2020). Does population ageing affect savings in Europe? *Journal of Policy Modeling*, 42(2), 291-306.
- Petropoulos, F., Makridakis, S., Assimakopoulos, V., & Nikolopoulos, K. (2014). "Horses for Courses" in demand forecasting. *European Journal of Operational Research*, 237(1), 152-163.
- Safitri, L., Mardiyati, S., & Rahim, H. (2018). Estimation of mortality rate in Indonesia with Lee-Carter model. *AIP Conference Proceedings*, 2023, 020210-1 - 020210-6.
- Schmertmann, C. P. (2003). A system of model fertility schedules with graphically intuitive parameters. *Demographic Research*, 9, 81-110.
- Schmertmann, C. P., & Hauer, M. E. (2019). Bayesian estimation of total fertility from a population's age-sex structure. *Statistical Modelling*, 19(3), 225-247.
- Schmertmann, C., Zagheni, E., Goldstein, J. R., & Myrskylä, M. (2014). Bayesian forecasting of cohort fertility. *Journal of the American Statistical Association*, 109(506), 500-513.
- Shair, S., Akmal, F., & Nordin, N. (2017). A Multi-developing-country comparison of the Lee-Carter model for mortality and life expectancy projections. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(6S), 371-383.
- Shair, S. N., Yusof, A. Y., Khair, S. N. M., & Sharan, N. I. (2019). Malaysian fertility transitions: Analyses and projections of ASFR and TFR by ethnicity. *International Journal of Engineering & Technology*, 8(1.7), 68-74.
- Shang, H. L., & Haberman, S. (2020). Retiree mortality forecasting: A partial age-range or a full age-range model? *Risks*, 8(3), 1-11.
- Shittu, W. O., & Abdullah, N. (2018). Fertility, education, and female labour participation: Dynamic panel analysis of ASEAN-7 countries. *International Journal of Social Economics*, 46(1), 66-82.
- Shittu, W. O., Abdullah, N., & Umar, H. M. B. (2019). Does fertility affect female labour participation differently in Malaysia and Singapore? *Indian Journal of Labour Economics*, 62(2), 201-217.
- Smith, S. K., & Sincich, T. (1991). An empirical analysis of the effect of length of forecast horizon on population forecast errors. *Demography*, 28(2), 261-274.
- Testa, M. R. (2014). On the positive correlation between education and fertility intentions in Europe: Individual- and country-level evidence. *Advances in Life Course Research*, 21, 28-42.

- The Straits Times. (2021). Malaysia may become an ageing nation earlier than expected, statistics show. Diambil daripada: <https://www.straitstimes.com/asia/se-asia/malaysia-may-become-an-ageing-nation-earlier-than-expected-statistics-show>
- Uddin, G. A., Alam, K., & Gow, J. (2016). Population age structure and savings rate impacts on economic growth: Evidence from Australia. *Economic Analysis and Policy*, 52, 23–33.
- UNICEF (2020). Situation analysis of women and children in Malaysia 2020. Kuala Lumpur, Malaysia. Diambil daripada: <https://www.unicef.org/malaysia/media/1526/file/Situation%20Analysis%20of%20Women%20&%20Children%20in%20Malaysia%202020.pdf>
- United Nations. (2020). World Fertility and Family Planning 2020: Highlights. Diambil daripada: [https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/family/World\\_Fertility\\_and\\_Family\\_Planning\\_2020\\_Highlights.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/family/World_Fertility_and_Family_Planning_2020_Highlights.pdf)
- United Nations ESCAP. (2020). Ageing and its Economic Implications. *Social Development Policy Papers* (Vol. 1). Diambil daripada: <https://www.unescap.org/resources/social-development-policy-paper-ageing-and-its-economic-implications>
- Wang, L. (2021). Fertility, imperfect labor market, and notional defined contribution pension. *The Journal of the Economics of Ageing*, 20, 100344.
- World Bank. (2021). Fertility rate, total (births per woman). Diambil pada 10 November 2021, <https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.TFRT.IN>
- Yang, L. (2019). Strength & Weakness of Lee-Carter Models. [Master thesis, Maastricht University].
- Zamzuri, Z. H., & Hui, G. J. (2020). Comparing and forecasting using stochastic mortality models: A Monte Carlo simulation. *Sains Malaysiana*, 49(08), 2013–2022.