

Pelaksanaan Algoritma Pendebungaan Bunga untuk Menyelesaikan Masalah Penghantaran Ekonomi dalam Sistem Kuasa (Implementation of Flower Pollination Algorithm for Solving Economic Dispatch Problems in Power System)

Nur Fariza Ramli^a, Nor Azwan Mohamed Kamari^{a*}, Syahirah Abd Halim^a, Asrul Ibrahim^a, Ismail Musirin^b

^aJabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia
^bFakulti Kejuruteraan Elektrik, Universiti Teknologi Mara, Malaysia

*Corresponding author: azwank@ukm.edu.my

Received 28 December 2020, Received in revised form 08 May 2021
Accepted 20 June 2021, Available online 30 November 2021

ABSTRACT

Kajian ini mengemukakan kecekapan Algoritma Pendebungaan Bunga (APB) dalam menyelesaikan penghantaran ekonomi. Penghantaran ekonomi yang terbaik bagi sesuatu sistem kuasa adalah sistem terbabit dapat menjana tenaga pada kos penjanaan yang rendah. Pengiraan bagi kos penjanaan terbabit adalah tertakluk kepada beberapa kekangan, seperti permintaan kuasa bagi keseluruhan sistem dan had penjanaan bagi setiap unit penjana dalam sistem terbabit. Selain itu, sistem itu juga perlu menghasilkan kehilangan kuasa yang rendah bagi mengurangkan kesan penghasilan pencemaran gas rumah hijau. Teknik pengoptimuman APB dikembangkan berdasarkan pemindahan debunga dari satu bunga ke bunga lain pada pokok yang sama atau pokok yang lain menggunakan pendebunga semulajadi seperti lebah madu, burung, air, atau angin. Antara kelebihan APB berbanding teknik lain adalah kesederhanaan dalam rumus pengiraan dan masa simulasi pencarian yang pantas. Algoritma yang dicadangkan telah dilaksanakan dalam dua sistem iaitu sistem IEEE 9 bus 3 penjana dan IEEE 30 bus 6 penjana. Kedua-dua sistem ini diuji dalam persekitaran Matlab. Bagi menyerlahkan kemampuan FPA, keputusan menggunakan teknik yang dicadangkan ini dibandingkan dengan teknik Pengoptimuman Kupu-Kupu Api (PKA) untuk menentukan kecekapan pendekatan yang dicadangkan dalam menyelesaikan pengirim ekonomi. PKA merupakan teknik pengoptimuman yang telah banyak digunakan dalam mencari keputusan optimum, terutamanya dalam penyelidikan kejuruteraan. Hasil simulasi menunjukkan bahawa APB berprestasi lebih baik daripada PKA dalam menentukan nilai penjanaan kuasa optimum dengan kos penjanaan yang minimum dan kadar kehilangan kuasa yang rendah.

Kata kunci: Penghantaran ekonomi; algoritma pendebungaan bunga; pengoptimum kupu-kupu api

ABSTRACT

This study presents the efficiency of the Flower Pollination Algorithm (FPA) in solving economic dispatch. The best economic dispatch for a power system is that the system can generate energy at low generation costs. The calculation of the generating cost is subject to a number of constraints, such as the power demand for the entire system and the generation limit for each generator unit in the system. In addition, the system should also produce low power loss to reduce the impact of greenhouse gas emission. FPA optimization technique is developed based on the transfer of pollen from one flower to another on the same tree or another tree using natural pollinators such as honey bees, birds, water, or wind. Among the advantages of FPA over other techniques are simplicity in computational formulas and fast search simulation time. The proposed algorithm has been implemented in two systems namely IEEE 9 bus 3 generator system

and IEEE 30 bus 6 generator. Both of these systems were tested in a Matlab environment. To highlight the capabilities of FPA, the results using this proposed technique are compared with the Moth Flame Algorithm (MFA) technique to determine the efficiency of the proposed approach in solving economic dispatch. MFA is an optimization technique that has been widely used in finding optimal results, especially in engineering research. The simulation results show that FPA performs better than MFA in determining the optimal power generation value with minimum generation cost and low rate of power loss.

Keywords: Economic dispatch; flower pollination algorithm; moth flame algorithm

PENGENALAN

Pembangunan sesebuah negara sangat bergantung pada kecekapan sistem kuasanya. Pengendalian kos untuk mengelakkan perbelanjaan yang tidak perlu adalah sangat penting dalam menjaga kecekapan sistem kuasa dan ekonomi negara. Penghantaran ekonomi (PE) adalah kunci penting untuk dipertimbangkan dalam pembangunan sistem kuasa. Ia telah digunakan secara meluas dalam reka bentuk sistem kuasa untuk meminimumkan kos sambil mencapai permintaan tenaga, seperti di laporkan oleh (Basu 2017) dan (Sundram 2020).

Berdasarkan konsep PE, selain daripada kehilangan tenaga akan dapat dikurangkan, kos penjanaan yang lebih rendah turut akan dicapai. Pelbagai kaedah telah digunakan bagi merealisasikan konsep ini, termasuk kaedah pengoptimuman. Kaedah pengoptimuman dapat dikategorikan kepada beberapa kategori, termasuk metaheuristik (Alomoush 2020), pengoptimuman kombinatorial (Min et al. 2008) dan pengaturcaraan linear (Wei et al. 2020). Bergantung pada permintaan kuasa, sistem kuasa selalunya dibina dengan lebih daripada satu penjana. Kos penggunaan tenaga yang dihasilkan dan diedarkan oleh setiap penjana adalah berbeza antara satu sama lain. Oleh itu, penggunaan kaedah pengoptimuman sangat penting dalam mencapai objektif penghantaran ekonomi.

Pendekatan pengoptimuman sering dipilih untuk menyesuaikan pemboloh ubah peranti dalam menyelesaikan masalah kestabilan sistem kuasa. Beberapa algoritma baru, seperti Pengoptimuman Lingkaran Partikel (Zhao et al. 2020), Algoritma Pencarian Graviti (Lipu et al. 2019), Algoritma Kelip-Kelip (Wong et al. 2014), Algoritma Pengoptimuman Paus (Kamari et al. 2018), Pengoptimuman Kupu-Kupu Api (Elsakaan et al. 2018; Elattar et al. 2020), Pengoptimuman Koloni Semut (Zhou et al. 2017) dan Algoritma Kelawar (Eltamaly et al. 2020) juga mendapat perhatian kerana kecekapannya. Algoritma ini diilhamkan dari alam semula jadi dengan ciri sistem biologi yang digunakan sebagai konsep pengiraan dalam pengoptimuman. Beberapa algoritma lain yang diilhamkan oleh sistem biologi, seperti Algoritma Genetik (Ayoppan et al. 2019), Sistem Imun Buatan (Kong et al. 2019) dan Pengaturcaraan

Evolusi (Sun et al. 2020) juga seringkali digunakan.

Dalam kajian ini, teknik baru iaitu Algoritma Pendebungaan Bunga (APB) diperkenalkan. Kaedah APB tercetus berdasarkan pemindahan debunga dari satu bunga ke bunga lain menggunakan pendebunga iaitu lebah madu, burung, air, atau angin. Antara kelebihan APB berbanding teknik lain adalah konsep pencarian yang sederhana dan pantas (Prasanth Ram et al. 2017; Ramli et al. 2020). Dalam kajian ini, pendekatan penghantaran ekonomi menggunakan APB telah disimulasi dalam dua sistem yang mengikut piawaian IEEE iaitu sistem sembilan bas dengan tiga penjana dan sistem tiga puluh bas dengan enam penjana. Perisian Matlab digunakan untuk menjalankan simulasi tersebut. Dalam kajian ini, kaedah APB dibandingkan dengan teknik Pengoptimum Kupu-Kupu Api (PKA). Hasilnya dianalisis dalam aspek pengurangan kos penjanaan berdasarkan sesuatu permintaan kuasa.

Manuskrip ini disusun seperti berikut: Bahagian Kedua membentangkan pengiraan asas PE. Bahagian Ketiga dan Bahagian Keempat, masing-masing menerangkan formulasi untuk teknik pengoptimuman APB dan PKA. Bahagian Kelima memberikan keputusan dan perbincangan simulasi yang dijalankan. Akhir sekali, Bahagian Keenam mengemukakan kesimpulan bagi kajian ini.

FORMULASI PENGHANTARAN BEBAN EKONOMI

Objektif bagi masalah penghantaran beban ekonomi adalah untuk meminimumkan jumlah kos penjanaan tenaga yang dihasilkan dengan peruntukan nilai penjanaan yang optimum sambil memenuhi kekangan persamaan. Persamaan matematik yang mewakili fungsi objektif adalah sama dengan persamaan kuadratik seperti di bawah ini (Basu 2017):

$$F_t = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) = \sum_{i=1}^n (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) \quad (1)$$

Di sini, F_i ialah jumlah kos penjanaan bagi semua penjana, n ialah nombor penjana. a_i , b_i dan c_i adalah pekali bagi penjana i . P_i ialah kuasa yang dijana oleh

penjana i . Jumlah kuasa yang dijana oleh sistem, P_J ditunjukkan oleh persamaan (2):

$$P_J = \sum_{i=1}^n P_i = P_d + P_l \quad (2)$$

Di sini, P_d ialah permintaan kuasa di bahagian beban kuasa, dan P_l ialah kehilangan kuasa semasa proses penghantaran kuasa. Kemampuan penjanaan bagi sesuatu penjana adalah dalam julat berikut:

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (3)$$

Di sini, P_i^{min} dan P_i^{max} adalah masing-masing, nilai minimum dan maksimum bagi penjana kuasa oleh penjana i .

TEKNIK PENGOPTIMUMAN

Dalam kajian ini, teknik pengoptimuman baru, iaitu Algoritma Pendebungaan Bunga (APB) dicadangkan untuk mencari nilai penjana optimum bagi memenuhi permintaan kuasa, P_d disamping menghasilkan kehilangan kuasa, P_l yang rendah. Prestasi teknik ini akan dibandingkan dengan kaedah Pengoptimuman Kupu-Kupu Api (PKA).

ALGORITMA PENDEBUNGAAN BUNGA

Algoritma Pendebungaan Bunga (APB) diperkenalkan oleh Xin-She Yang pada tahun 2012. Ia adalah teknik berasaskan populasi yang baru dikembangkan yang meniru tingkah laku pendebungaan bunga. Pendebungaan adalah proses fisiologi persenyawaan semula jadi pada tanaman yang berkaitan dengan pemindahan debunga oleh agen pendebunga seperti serangga dan burung. Pada dasarnya, pendebungaan bunga adalah proses memindahkan debunga dari satu bunga ke bunga yang lain, samada menggunakan agen pendebunga atau biotik dan tanpa menggunakan agen pendebunga atau abiotik. Contoh biotik adalah menggunakan lebah madu dan burung, manakala abiotik adalah menggunakan air atau angin. Selain biotik dan abiotik, pendebungaan juga dapat dibahagikan kepada dua, iaitu, pendebungaan sendiri dan pendebungaan silang atau allogami. Pendebungaan sendiri adalah pendebungaan dari jenis tanaman yang sama, sementara pendebungaan allogami adalah pendebungaan dari dua jenis tanaman yang berbeza.

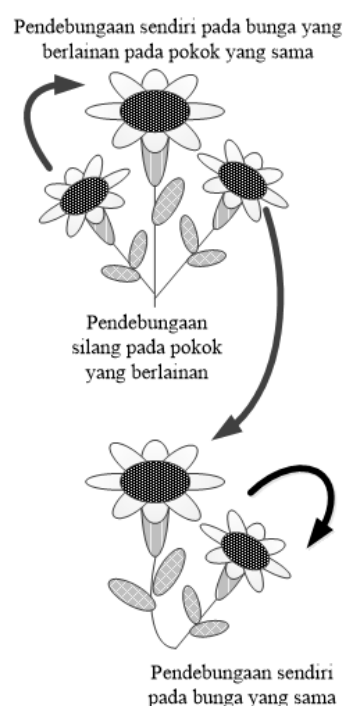
Dalam APB, pendebungaan biotik dan silang berlaku di antara bunga yang berada jauh di antara satu sama lain, yang mana ia setara dengan pengoptimuman global. Pergerakan agen pendebunga seperti burung dan serangga dapat disimulasi menggunakan pergerakan penerbangan Levy. Oleh itu, konsep penerbangan Levy dapat digunakan dalam proses pengoptimuman global. Sebaliknya, abiotik

dan pendebungaan sendiri dapat dinyatakan sebagai pengoptimuman tempatan kerana ia berlaku pada bunga yang sama. Rajah 1 menunjukkan konsep pendebungaan yang digunakan dalam APB.

APB seterusnya dikembangkan dengan empat peraturan berikut yang digunakan untuk menyalin ciri pendebungaan bunga. Peraturan Pertama menyatakan bahawa kaedah pendebungaan biotik dan pendebungaan silang dianggap sebagai proses pendebungaan global. Cara pendebungaan bagi dua kaedah ini dilakukan menggunakan pergerakan penerbangan Levy. Seterusnya, Peraturan Kedua menyatakan bahawa kaedah pendebungaan abiotik dan pendebungaan sendiri dianggap sebagai proses pendebungaan tempatan. Peraturan Ketiga pula menyatakan bahawa kemalaran bunga dianggap sebagai satu kebarangkalian pembiakan, yang mana ia berkadar terus dengan kesamaan dua bunga yang terlibat. Terakhir, Peraturan Keempat menyatakan bahawa penentuan di antara kaedah pendebungaan tempatan dan pendebungaan global dapat dikawal oleh kebarangkalian $p \in [0, 1]$. Pendebungaan global seperti dalam Peraturan Pertama dapat ditunjukkan secara matematik pada persamaan (4):

$$x_i^{t+i} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(x_i^t - x_{baik}) \quad (4)$$

Dalam persamaan (4), x_i^t ialah debunga (penyelesaian) ke- i pada lelaran t , x_{baik} ialah debunga semasa terbaik di antara semua debunga hingga lelaran t , γ ialah faktor penskalaan untuk mengawal saiz langkah, dan $L(\lambda)$ ialah saiz langkah yang berdasarkan pergerakan penerbangan Levy.



RAJAH 1. Corak pendebungaan dalam APB

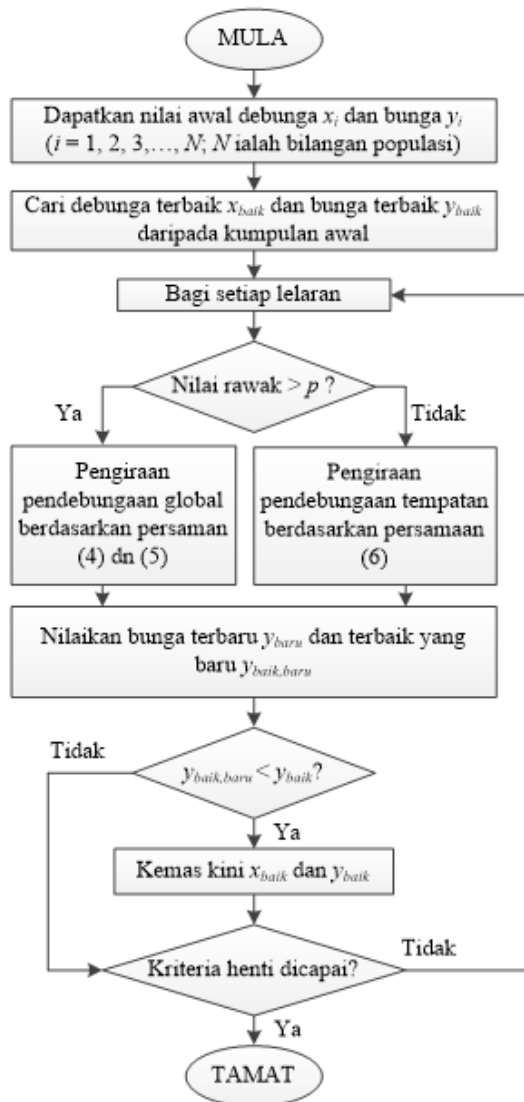
Pengiraan $L(\lambda)$ ditunjukkan dalam persamaan (5):

$$L \approx \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi\lambda}{2})}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}} \quad (s \gg s_0 > 0) \quad (5)$$

Dalam persamaan (5), $\Gamma(\lambda)$ ialah taburan gamma piawai. Seperti dalam Peraturan Kedua, pendebungaan tempatan dapat ditunjukkan secara matematik sebagai:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \varepsilon(x_j^t - x_k^t) \quad (6)$$

Dalam persamaan (6), x_j^t dan x_k^t , kedua-duanya adalah debunga dari bunga yang berlainan dari spesies tumbuhan yang sama. Secara matematik, jika kedua-dua debunga berasal dari spesies atau populasi yang sama, kebarangkalian pendebungaan berlaku adalah mengikut konsep perjalanan rambang. Ia ditunjukkan dengan parameter ε iaitu taburan seragam dengan nilai $[0, 1]$.

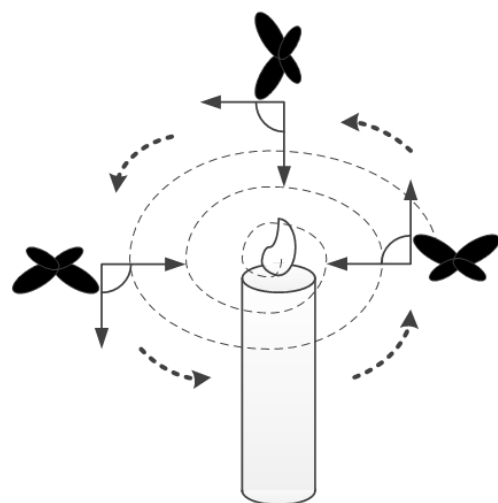


RAJAH 2. Carta Alir Algoritma Pendebungaan Bunga

Oleh kerana pendebungaan juga boleh terjadi pada bunga dari bunga berdekatan berbanding bunga yang jauh, kebarangkalian beralih (berdasarkan Peraturan Keempat) digunakan melalui kebarangkalian p untuk beralih antara pendebungaan global dan pendebungaan tempatan. Pengiraan awal menunjukkan bahawa $p = 0.8$ berfungsi lebih baik untuk kebanyakan keadaan (Ramli et al. 2020). Rajah 2 menunjukkan carta alir pelaksanaan Algoritma Pendebungaan Bunga.

PENGOPTIMUM KUPU-KUPU API

Pengoptimum Kupu-Kupu Api (PKA) telah diperkenalkan oleh Mirjalili pada tahun 2015. PKA adalah teknik pengoptimuman baru yang diilhamkan oleh kaedah navigasi kupu-kupu. Dikenali sebagai orientasi melintang, pendekatan ini memastikan bahawa kupu-kupu berada pada sudut tetap dengan ke cahaya cakerawala yang terang seperti bulan. Bagaimanapun, cahaya cakerawala adalah sangat jauh sehinggakan setelah menempuh jarak yang jauh, perubahan sudut antara kupu-kupu dan sumber cahaya dapat diabaikan. Ini menyebabkan kupu-kupu menemui cahaya buatan yang jauh lebih dekat seperti lampu dan lilin, dan menggunakannya untuk navigasi. Dengan menggunakan cahaya buatan ini sebagai penanda aras, sudut akan berubah dengan ketara dalam jarak yang dekat, selain sering berada di bawah ufuk. Secara naluri, kupu-kupu akan berusaha untuk membetulkan kedudukannya dengan berpaling ke arah cahaya, sehingga menghasilkan jalur penerbangan berbentuk lingkaran yang semakin lama penerbangan, semakin dekat kupu-kupu dengan sumber cahaya. Corak penerbangan ini ditunjukkan pada Rajah 3.



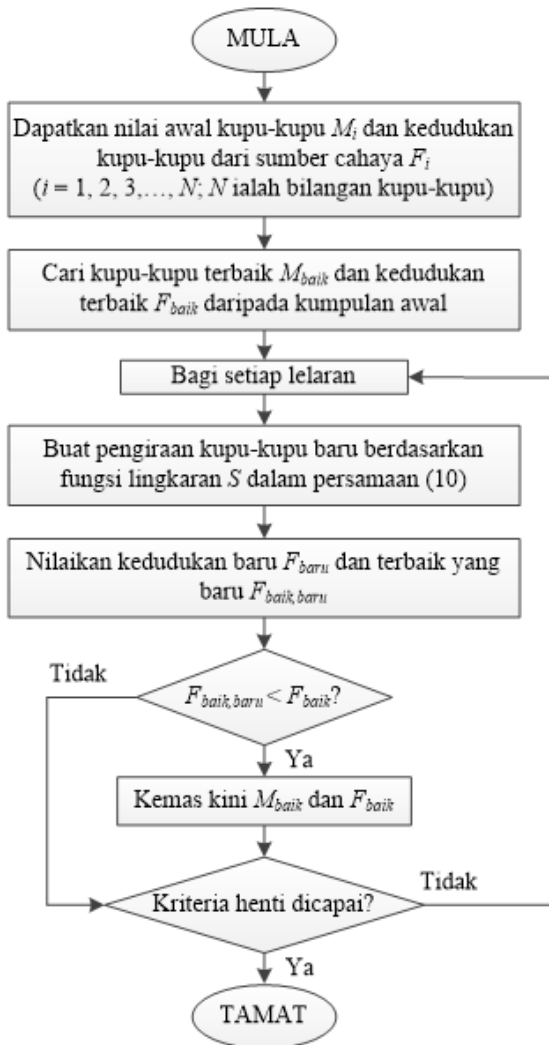
RAJAH 3. Jalur penerbangan kupu-kupu berbentuk lingkaran yang mendekati sumber cahaya

Dalam PKA, kupu-kupu dianggap sebagai agen carian yang bergerak di sekitar ruang carian, sementara sumber

cahaya dianggap sebagai kedudukan terbaik semasa. Oleh itu, setiap kupu-kupu ejen akan mencari di sekitar sumber cahaya untuk mendapatkan kedudukan yang lebih baik dan mengemas kini kedudukan terbaik. Dalam kajian ini, set kupu-kupu (ejen) M dapat dijelaskan seperti berikut:

$$M = \begin{bmatrix} m_{1,1} & \cdots & m_{1,d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n,1} & \cdots & m_{n,d} \end{bmatrix} \tag{7}$$

Dalam persamaan (7), d adalah bilangan pemboleh ubah dan n adalah bilangan kupu-kupu.



RAJAH 4. Carta Alir Pengoptimum Kupu-Kupu Api

Sementara itu, set sumber cahaya (kedudukan) F dapat digambarkan seperti berikut:

$$F = \begin{bmatrix} F_{1,1} & \cdots & F_{1,d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{n,1} & \cdots & F_{n,d} \end{bmatrix} \tag{8}$$

Kedudukan ejen ke- i , M_i dapat digambarkan sebagai berikut:

$$M_i = S(M_i, F_j) \tag{9}$$

Di sini, S adalah fungsi lingkaran dan F_j adalah kedudukan ke- j . Persamaan fungsi lingkaran S dalam persamaan (9) dapat ditunjukkan seperti berikut:

$$S(M_i, F_j) = |M_i - F_j| \cdot e^{\beta t} \cdot \cos 2\pi t + F_j \tag{10}$$

Di sini, β adalah pemalar dan τ adalah nombor rawak $[-1,1]$. Penjelasan terperinci mengenai proses PKA boleh didapati di (Elsakaan et al. 2018). Rajah 4 menunjukkan carta alir pelaksanaan Pengoptimum Kupu-Kupu Api.

KRITERIA HENTI

Proses pengiraan bagi kedua-dua teknik pengoptimuman APB dan PKA akan terus berjalan, sehingga kriteria henti telah dicapai. Dalam kajian ini, terdapat dua kriteria henti. Proses pengiraan akan berhenti jika:

1. Nilai perbezaan mutlak bagi bunga maksimum dan minimum $|y_{max} - y_{min}|$ untuk APB dan perbezaan mutlak bagi kedudukan maksimum dan minimum kupu-kupu $|F_{max} - F_{min}|$ untuk PKA adalah sama atau kurang dari 0.0001
2. Nilai lelaran telah mencapai nilai maksimum iaitu 100.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Teknik APB dan PKA telah diuji secara simulasi dalam dua Sistem IEEE, iaitu sistem sembilan bas dan tiga penjana (Sistem 1) dan sistem tiga puluh bas dan enam penjana (Sistem 2). Terdapat dua kes dijalankan bagi setiap sistem. Permintaan kuasa bagi setiap kes ditunjukkan dalam Jadual 1. Dalam kajian ini, simulasi telah dijalankan menggunakan komputer dengan spesifikasi pemprosesan Intel(R) Core(TM) i5-8250U.

JADUAL 1. Permintaan Kuasa Bagi Setiap Kes.

Sistem	Kes	Permintaan Kuasa, P_D
Sistem 1	Kes 1-A	300 MW
	Kes 1-B	450 MW
Sistem 2	Kes 2-A	550 MW
	Kes 2-B	1050 MW

SISTEM SEMBILAN BAS DAN TIGA PENJANA
(SISTEM 1)

Dalam kajian ini, sistem sembilan bas dengan tiga unit penjana dinamakan sebagai Sistem 1. Jadual 2 menunjukkan had penjanaan maksimum dan minimum untuk tiga unit penjana: P_1 , P_2 dan P_3 bagi Sistem 1.

JADUAL 2. Had Penjanaan bagi Sistem 1.

Penjana	Minimum (MW)	Maksimum (MW)
P_1	50	250
P_2	5	150
P_3	15	100

Jadual 3 menunjukkan pekali fungsi kos: a, b dan c untuk setiap unit penjana bagi Sistem 1.

JADUAL 3. Pekali Fungsi Kos bagi Sistem 1.

Penjana	a_i (RM/j)	b_i (RM/MWh)	c_i (RM/(MW) ² h)
P_1	328.13	8.663	0.00525
P_2	136.91	10.040	0.00609
P_3	59.16	9.760	0.00592

Hasil nilai penjanaan terbaik untuk penjana P_1 , P_2 dan P_3 yang menggunakan APB dan PKA untuk Kes 1-A diringkaskan dalam Jadual 4. Data ini menunjukkan bahawa jumlah kuasa yang dijana, P_J untuk APB dan PKA adalah sama dengan permintaan kuasa, P_D bagi Kes 1-A, iaitu 300 MW. Ini menunjukkan kemampuan kedua-dua kaedah pengoptimuman ini dalam membuat talaan nilai penjanaan yang sesuai bagi sesuatu sistem, sehingga tiada kehilangan kuasa, P_l yang dihasilkan.

JADUAL 4. Penjadualan Kuasa untuk Kes 1-A

Penjana	APB (MW)	PKA (MW)
P_1	184.20	179.56
P_2	45.57	39.96
P_3	70.23	80.48
Jumlah Penjanaan	300	300

Kos penjanaan berdasarkan penalaan nilai penjanaan untuk ketiga-tiga penjana dan masa iterasi menggunakan teknik APB dan PKA bagi Kes 1-A ditunjukkan di dalam Jadual 5. Keputusannya menunjukkan kaedah APB membelanjakan RM3482.86 untuk jumlah kos penjanaan, berbanding RM3483.75 oleh PKA. Walaupun perbezaannya

yang kecil, keputusan ini menunjukkan bahawa APB dapat memberikan penjimatan kos lebih baik daripada PKA. Dari segi masa iterasi pula, PKA menyelesaikan proses optimasi dalam masa 12.83 saat. Ia lebih pantas daripada APB yang menyelesaikan simulasi dalam masa 12.89 saat. Dengan perbezaan 0.06 saat ini, masa yang diperuntukkan untuk proses optimasi bagi kedua-dua kaedah ini adalah hampir sama.

JADUAL 5. Kos Penjanaan dan Masa Iterasi untuk Kes 1-A

Penjana	APB (RM/j)	PKA (RM/j)
P_1	2101.93	2052.95
P_2	607.05	547.81
P_3	773.88	882.99
Jumlah Kos	3482.86	3483.75
Masa Iterasi	12.89 s	12.83 s

Jadual 6 menunjukkan nilai penjanaan untuk penjana-penjana bagi kes 1-B menggunakan APB dan PKA. Seperti Kes 1-A, nilai P_J berdasarkan kaedah APB dan PKA adalah sama dengan P_D bagi Kes 1-B, iaitu 450 MW.

JADUAL 6. Penjadualan Kuasa untuk Kes 1-B

Penjana	APB (MW)	PKA (MW)
P_1	244.78	245.10
P_2	106.93	110.74
P_3	98.29	94.16
Jumlah Penjanaan	450	450

Kos penjanaan dan masa iterasi berdasarkan teknik APB dan PKA bagi Kes 1-B ditunjukkan di dalam Jadual 7. Keputusan yang diperolehi menunjukkan bahawa APB mampu membuat talaan nilai penjana dengan kos penjanaan yang lebih rendah berbanding PKA. Bagi Kes 1-B, APB didapati menyelesaikan proses simulasi dalam masa 17.05 saat, yang mana 3.5 saat lebih pantas daripada kaedah PKA.

JADUAL 7. Kos Penjanaan dan Masa Iterasi untuk Kes 1-B

Penjana	APB (RM/j)	PKA (RM/j)
P_1	2763.25	2766.83
P_2	1280.06	1323.37
P_3	1075.70	1030.70
Jumlah Kos	5119.01	5120.90
Masa Iterasi	17.05 s	20.55 s

SISTEM TIGA PULUH BAS DAN ENAM PENJANA
(SISTEM 2)

Dalam kajian ini, sistem tiga puluh bas dengan enam unit penjana dinamakan sebagai Sistem 2. Jadual 8 menunjukkan had penjanaan maksimum dan minimum untuk enam unit penjana: $P_1 \sim P_6$ bagi Sistem 2. Manakala, Jadual 9 menyenaraikan pekali fungsi kos untuk setiap unit penjana bagi Sistem 2.

JADUAL 8. Had Penjanaan bagi Sistem 2.

Penjana	Minimum (MW)	Maksimum (MW)
P_1	100	500
P_2	50	200
P_3	80	300
P_4	50	150
P_5	50	200
P_6	50	120

JADUAL 9. Pekali Fungsi Kos bagi Sistem 2.

Penjana	a_i (RM/j)	b_i (RM/MWh)	c_i (RM/(MW)2h)
P_1	240	7.0	0.0070
P_2	200	10.0	0.0095
P_3	220	38.5	0.0090
P_4	200	11.0	0.0090
P_5	220	10.5	0.0080
P_6	190	12.0	0.0075

Hasil nilai penjanaan terbaik untuk penjana $P_1 \sim P_6$ yang menggunakan APB dan PKA untuk Kes 2-A ditunjukkan dalam Jadual 10. Kedua-dua teknik ini berjaya menala nilai P_J supaya bersamaan dengan P_D bagi Kes 2-A, iaitu 550 MW. Oleh itu, tiada P_i yang dihasilkan.

JADUAL 10. Penjadualan Kuasa untuk Kes 2-A

Penjana	APB (MW)	PKA (MW)
P_1	171.05	170.99
P_2	71.59	71.62
P_3	129.58	129.58
P_4	66.44	66.49
P_5	58.96	58.95
P_6	52.37	52.37
Jumlah Penjanaan	550	550

Kos penjanaan dan masa iterasi berdasarkan teknik APB dan PKA bagi Kes 2-A ditunjukkan di dalam Jadual 11. Keputusannya menunjukkan kaedah APB dan PKA, masing-masing membelanjakan RM6755.89 dan

RM6756.04. Keputusan ini menunjukkan bahawa APB dapat memberikan penjimatan kos yang lebih baik daripada PKA. Dari perspektif masa iterasi, PKA mengambil masa 21.89 saat bagi menyelesaikan proses optimasi, ketinggalan 2.56 saat dibelakang APB.

JADUAL 11. Kos Penjanaan dan Masa Iterasi untuk Kes 2-A

Penjana	APB (RM/j)	PKA (RM/j)
P_1	1642.16	1641.57
P_2	964.63	964.89
P_3	1472.60	1472.59
P_4	970.63	971.13
P_5	866.88	866.82
P_6	838.99	839.04
Jumlah Kos	6755.89	6756.04
Masa Iterasi	19.33 s	21.89 s

Jadual 12 menunjukkan nilai penjanaan untuk penjana-penjana bagi kes 2-B menggunakan APB dan PKA.

JADUAL 12. Penjadualan Kuasa untuk Kes 2-B

Penjana	APB (MW)	PKA (MW)
P_1	397.55	380.10
P_2	134.32	129.52
P_3	224.82	237.33
P_4	102.58	102.36
P_5	121.08	129.83
P_6	69.65	70.86
Jumlah Penjanaan	1050	1050

Kos penjanaan dan masa iterasi berdasarkan teknik APB dan PKA bagi Kes 2-B ditunjukkan di dalam Jadual 13. Berdasarkan Jadual 13, kaedah APB jelas menghasilkan jumlah kos penjanaan yang jauh lebih murah berbanding PKA. Ini menunjukkan APB adalah pilihan terbaik berbanding APB, dalam membuat talaan nilai penjana bagi menghasilkan kos penjanaan yang minimum. Dari segi masa iterasi, APB didapati menyelesaikan proses optimasi 0.68 saat lebih cepat daripada PKA.

JADUAL 13. Kos Penjanaan dan Masa Iterasi untuk Kes 2-B

Penjana	APB (RM/j)	PKA (RM/j)
P_1	4129.17	3912.00
P_2	1714.59	1654.66
P_3	2585.87	2744.22
P_4	1423.15	1420.30
P_5	1608.59	1718.07
P_6	1062.16	1077.95
Jumlah Kos	12523.53	12527.20
Masa Iterasi	18.22 s	18.90 s

KESIMPULAN

Kajian ini mencadangkan strategi penjadualan kuasa menggunakan Algoritma Pendebungaan Bunga (APB) untuk mencapai penjanaan kuasa optimum oleh unit penjana dengan kos penjanaan kuasa minimum. Dua sistem ujian yang masing-masing mempunyai dua permintaan kuasa yang berbeza dipilih sebagai sistem ujian dan dilaksanakan menggunakan MATLAB. Hasilnya menunjukkan bahawa APB dan Pengoptimum Kupu-Kupu Api (PKA) berjaya menghasilkan jumlah penjanaan tenaga yang sama dengan permintaan tenaga, tanpa kehilangan kuasa. Dari segi kos penjanaan, APB mengatasi PKA dalam menyediakan kos penjanaan yang lebih rendah untuk permintaan tenaga yang sama. Dari perspektif masa iterasi pula, kemampuan APB didapati lebih cepat berbanding PKA dalam kebanyakan kes. Kesimpulannya, APB adalah teknik yang paling tepat dalam penjadualan kuasa untuk masalah penghantaran ekonomi dalam sistem kuasa.

PENGHARGAAN

Kajian ini ditaja oleh Universiti Kebangsaan Malaysia di bawah Geran Universiti Penyelidikan kod GUP-2020-018.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada

RUJUKAN

- Alomoush, M. I. 2020. Optimal combined heat and power economic dispatch using stochastic fractal search algorithm. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy* 8(2): 276-286.
- Ayoppan, A. H. A. H., Ibrahim, M. F. & Zaman, M. H. M. 2019. A genetic algorithm with online learning approach for improving loop closure detection of a visual SLAM. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering* 8(1.6): 159-166.
- Basu, M. 2017. Fast convergence evolutionary programming for economic dispatch problems. *IET Generation, Transmission and Distribution* 11(16): 4009-4017.
- Elattar, E. E., Elsayed, S. K. 2020. Optimal location and sizing of distributed generators based on renewable energy sources using modified moth flame optimization technique. *IEEE Access* 8: 109625-109638.
- Elsakaan, A. A., Sehiemy, R. A. E., Kaddah, S. S. & Elsaid, M. I. 2018. An enhanced moth-flame optimizer for solving non-smooth economic dispatch problems with emissions. *Energy* 157: 1063-1078.
- Eltamaly, A. M., Al-Saud, M. S. & Abokhalil, A. G. 2020. A novel bat algorithm strategy for maximum power point tracker of photovoltaic energy systems under dynamic partial shading. *IEEE Access* 8: 10048-10060.
- Kamari, N. A. M., Musirin, I., Hamid, Z. A. & Ibrahim, A. A. 2018. Optimal tuning of SVC-PI controller using whale optimization algorithm for angle stability improvement. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 12(2): 612-619.
- Kong, X., Liu, D., Xiao, J. & Wang, C. 2019. A multi-agent optimal bidding strategy in microgrids based on artificial immune system. *Energy* 189: 116154.
- Lipu, M. S. H., Hannan, M. A., Hussain, A., Saad, M. H., Ayob, A. & Uddin, M. N. 2019. Extreme learning machine model for state-of-charge estimation of lithium-ion battery using gravitational search algorithm. *IEEE Transactions on Industry Applications* 55: 4225-4234.
- Min, K. I., Lee, S. W. & Moon, Y. H. 2008. Economic dispatch algorithm as combinatorial optimization problems. *International Journal of Control, Automation and Systems* 6(4): 468-476.
- Prasanth Ram, J., Rajasekar, N. 2017. A novel flower pollination based global maximum power point method for solar maximum power point tracking. *IEEE Transactions on Power Electronics* 32(11): 8486-8499.
- Ramli, N. F., Kamari, N. A. M., Halim, S. A. & Musirin, I. 2020. Solving non-smooth economic load dispatch problem via flower pollination algorithm. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research* 8(1.1): 158-165.
- Sun, J., Deng, J. & Li, Y. 2020. Indicator & crowding distance-based evolutionary algorithm for combined heat and power economic emission dispatch. *Applied Soft Computing* 90: 106158.
- Sundaram, A. 2020. Combined heat and power economic emission dispatch using hybrid NSGA II-MOPSO algorithm incorporating an effective constraint handling mechanism. *IEEE Access* 8: 13748-13768.
- Wei, W., Wu, D., Wang, Z., Mei, S. & Catalao, J. P. S. 2020. Impact of energy storage on economic dispatch of distribution systems: a multi-parametric linear programming approach and its implications. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy* 7: 243-253.
- Wong, L. A., Shareef, H., Mohamed, A. & Ibrahim, A. A. 2014. An enhanced opposition-based firefly algorithm for solving complex optimization problems. *Jurnal Kejuruteraan* 26: 89-96.
- Zhao, Q. & Li, C. 2020. Two-stage multi-swarm particle swarm optimizer for unconstrained and constrained global optimization. *IEEE Access* 8: 124905-124927.
- Zhou, J., Wang, C., Li, Y., Wang, P., Li, C., Lu, P. & Mo, L. 2017. A multi-objective multi-population ant colony optimization for economic emission dispatch considering power system security. *Applied Mathematical Modelling* 45: 684-704.