

## OPTIMISASI *RANGE* DAN *ENDURANCE* SAAT TERBANG JELAJAH MENGUNAKAN *FIREFLY ALGORITHM*

**Nurul Khikmah dan Muhaza Liebenlito**

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi,  
Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta  
Email: [muhazaliebenlito@uinjkt.ac.id](mailto:muhazaliebenlito@uinjkt.ac.id)

**Abstract:** Fly cruising (*Cruise*) is a phase of flight in which the aircraft at a certain altitude and speed. Fly cruising has two aspects i.e. *Range* (mileage) and *Endurance* (travel time). The maximum *Range* and *Endurance* are the maximum distance when the aircraft can take off and landing with limited fuel. *Cruise* phase fuel consumption can be influenced by the speed and weight of the aircraft. LSU-05 is an unmanned aircraft designed to developed researchers in LAPAN to help human kind, for example in humanitarian missions and missions to fly away in the record MURI. Therefore UAV is expected to generate maximum range and endurance. This research used Firefly Algorithm (FA) as a method for finding the solution of an optimization problem for *Range* and *Endurance*. By applying this method, the LSU-05 should be operated at a cruising speed of 110 km/hour in order to obtain the maximum range of 300.44 km. LSU-05 can also be operated with a cruising speed of 60.12 km/s with a maximum endurance is 1.3 hours and the a fuel consumption maximum is 16 kg or about 20.78 liters.

**Keywords:** UAV, *Cruise*, *Range*, *Endurance*, Firefly Algorithm.

**Abstrak:** Terbang jelajah (*Cruise*) merupakan fase penerbangan dimana pesawat berada pada ketinggian dan kecepatan tertentu. Pada fase terbang jelajah terdapat dua hal yang berkaitan yaitu *Range* (jarak tempuh) dan *Endurance* (waktu tempuh). *Range* dan *Endurance* yang maksimal merupakan jarak dimana pesawat dapat terbang *take off* dan *landing* dengan bahan bakar yang terbatas. Keterbatasan bahan bakar saat *cruise* sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan bobot pesawat itu sendiri. LAPAN *Surveillance* UAV (LSU-05) merupakan pesawat tanpa awak yang dirancang peneliti LAPAN agar dapat membantu pekerjaan manusia, misalnya dalam misi kemanusiaan dan misi terbang jauh pada rekor MURI. Oleh karena itu, UAV diharapkan mampu menghasilkan *range* dan *endurance* yang maksimal saat melakukan misinya. Penelitian ini menggunakan *Firefly Algorithm* (FA) sebagai metode untuk mencari solusi dari masalah optimisasi jarak tempuh maksimum. Hasil dari penerapan metode FA pada LSU-05 diperoleh range maksimum 300.44 km dengan kecepatan jelajah 110 km/h. LSU-05 juga dapat dioperasikan dengan kecepatan jelajah 60.12 km/s dan diperoleh endurance maksimum 1.3 jam, dengan masing-masing maksimum fuel consumption 16 kg atau bekisar 20.78 liter.

**Kata kunci:** UAV, Terbang Jelajah, Jarak, Waktu Tempuh, *Firefly Algorithm*.

### PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap pesawat ringan tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) meningkatkan minat berbagai pihak untuk mengembangkan UAV. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional merupakan salah satu lembaga yang mengembangkan UAV dengan produknya yang diberi nama LAPAN *Surveillance* UAV jenis ke-05 (LSU-05). Terbang

Jelajah (*Cruise*) merupakan fase dalam sebuah penerbangan dimana pesawat berada pada ketinggian tertentu. Pada fase ini sering dilakukan analisis terhadap jarak dan waktu tempuh yang diperlukan untuk terbang jelajah. Jarak dan waktu tempuh saat terbang jelajah dipengaruhi oleh kecepatan dan bobot pesawat itu sendiri [1].

Dalam melakukan misi bencana alam dan misi terbang jauh dalam pencatatan rekor MURI maka LSU-05 diharapkan mampu menghasilkan jarak dan waktu tempuh maksimal dengan keterbatasan kecepatan dan bobot pesawat yang dikarenakan karakteristik pesawat seperti aerodinamis (*drag polar*), propulsi (*thrust*) dan data struktur (*weight*). Dimana data tersebut akan dimasukkan dalam persamaan *range* dan *endurance*. Persamaan tersebut yang akan dijadikan sebagai fungsi objektif dengan variable keputusan yaitu keterbatasan kecepatan saat *cruise* dan bobot awal pesawat LSU-05. Metode yang akan digunakan pada fungsi objektif *range* dan *endurance* adalah *Firefly Algorithm* (FA) yang merupakan metode optimisasi metaheuristik, dimana akan memberikan pencarian global.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Firefly Algorithm (FA)

*Firefly Algorithm* (FA) merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang terbaru. Oleh karena itu telah ditulis beberapa artikel yang berkaitan dengan FA. FA mengacu pada beberapa karakteristik dari perilaku kunang-kunang. Pada algoritma ini mengacu pada tiga acuan dasar, yaitu:

1. Semua kunang-kunang adalah *unisex* jadi satu kunang-kunang tertarik dengan kunang-kunang lain terlepas dari jenis kelamin mereka.
2. Daya tarik sebanding dengan kecerahan, maka kunang-kunang dengan kecerahan lebih redup akan bergerak ke arah kunang-kunang dengan kecerahan lebih terang dan kecerahan berkurang seiring dengan bertambah jarak. Apabila tidak ada kunang-kunang yang memiliki kecerahan paling cerah maka kunang-kunang akan bergerak secara acak (*random*).
3. Kecerahan atau intensitas cahaya kunang-kunang ditentukan oleh nilai fungsi tujuan dari masalah yang diberikan.

Ada dua hal yang berkaitan sangat penting pada FA yaitu intensitas cahaya dan fungsi ketertarikan. Tingkat intensitas cahaya pada sebuah kunang-kunang  $x$  dapat dilihat sebagai:

$$I(x) \propto f(x).$$

Dengan nilai  $I$  yang merupakan intensitas cahaya yang sebanding dengan fungsi tujuan yang akan dicari solusinya  $f(x)$ . Ketertarikan  $\beta$  yang bernilai relatif, karena intensitas cahaya yang harus dilihat dan dinilai oleh kunang-kunang lain. Dengan demikian, hasil penilaian akan berbeda tergantung dari jarak antara kunang-kunang  $i$  dengan kunang-kunang  $j$  ( $r_{ij}$ ). Selain itu, intensitas cahaya akan menurun dilihat dari sumbernya dikarenakan terserap oleh media seperti udara  $\gamma$  [0,1]. Nilai keatraktifan  $\beta$  dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}, \quad (m \geq 1). \quad (1)$$

dengan  $\beta(r)$ : keatraktifan  $\beta$  pada jarak  $r$ ,

$\beta_0$  : keatraktifan  $\beta$  pada jarak 0 [0,1],

$\gamma$  : koefisien penyerapan udara [0,1].

Jarak antara *kunang-kunang*  $i$  dan  $j$  pada lokasi  $x$ ,  $x_i$  dan  $x_j$  dapat ditentukan ketika dilakukannya peletakan titik dimana *kunang-kunang* tersebut disebar secara *random* dalam diagram kartesius dengan rumus [10].

$$r_{ij} = \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2}, \quad (2)$$

Pergerakan *kunang-kunang*  $i$  yang menuju intensitas cahaya yang terbaik dapat dinyatakan dalam

$$x_i = \underbrace{x_j}_1 + \underbrace{\beta_0 e^{-\gamma r^2} (x_i - x_j)}_2 + \underbrace{\alpha \left( rand - \frac{1}{2} \right)}_3, \quad (3)$$

Dimana istilah 1 merupakan variabel awal  $\mathbf{x}_i$  yang menunjukkan posisi awal *kunang-kunang* yang berada pada lokasi  $\mathbf{x}$ , kemudian istilah 2 variabel ini merupakan nilai keaktratifan yang terdapat pada persamaan (2) dan variabel selisih jarak awal antara *kunang-kunang*  $i$  dan  $j$ . Variabel *rand* adalah pembangkit bilangan acak berdistribusi seragam [0,1] yang bisa diperluas berdistribusi normal  $N(0,1)$  atau disrtibusi lainnya [2]. Untuk banyak kasus implementasi nilai  $\beta_0 = 1$  dan  $\alpha = [0,1]$ .

*Pseudocode* FA diilustrasikan pada Gambar 1. *Pseudocode* dimulai dengan menginput parameter yaitu  $\alpha, \gamma, Max Generation$ , dan jumlah populasi *kunang-kunang*. Definisikan nilai  $I$  yang merupakan intensitas cahaya yang sebanding dengan  $f(x)$ . Jika akan memaksimumkan fungsi tujuan maka *kunang-kunang* akan bergerak menuju kawan yang lebih terang ( $I(x^i) < I(x^j)$ ). Selisih dari koordinat lokasi *kunang-kunang*  $i$  terhadap  $j$  merupakan jarak diantara keduanya ( $r_{ij}$ ). Apabila belum ditemukan cahaya terbaik maka *kunang-kunang*  $i$  tetap mencari *kunang-kunang* yang memiliki cahaya lebih baik. Keatraktifan  $\beta$  yang bernilai relatif, karena intensitas cahaya yang dilihat oleh *kunang-kunang* lain akan berbeda tergantung dari  $r_{ij}$  dan intensitas cahaya dipengaruhi oleh penyerapan udara pada lingkungan (media). Jika *kunang-kunang* telah mendapatkan posisi terbaik dimana keatraktifan pada jarak 0 ( $\beta = 0$ ) maka kriteria untuk berhenti telah terpenuhi sampai batas iterasi dan selesai. Jika tidak maka lakukan iterasi sampai mendapatkan posisi terbaik ( $\beta = 0$ ).

### Prestasi Range dan Endurance saat Terbang Jelajah

Terbang jelajah (*Cruising Flight*) atau terbang datar (*Level Flight*) adalah terbang dengan lintas terbang berupa garis lurus dimana sayap sejajar dengan bidang horisontal lokal dan sudut lintas terbang nol ( $\gamma = 0$ ). Sama halnya dengan analisis prestasi terbang yang lain, analisis terbang jelajah juga menganggap bahwa pesawat terbang stasioner. Pada kondisi terbang stasioner, persamaan kesetimbangan gaya pada pesawat diacukan pada tata acuan koordinat angin.

Pada kondisi terbang stasioner, gaya angkat yang timbul disamakan dengan berat pesawat dan kondisi daya yang tersedia sama dengan daya yang diperlukan, sehingga secara ideal tidak ada kelebihan daya (*excess power*):

$$W - L = 0 \rightarrow L = W = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L,$$

```

INPUT : Fungsi Objektif  $f(x)$ ;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$  dan  $x$  adalah banyaknya variabel keputusan;
Banyaknya populasi  $n$ ; Parameter firefly algorithm:  $\alpha, \beta_0$ , dan  $\gamma$ ; Banyaknya iterasi maksimum
MaxGeneration;

OUTPUT : solusi fungsi objektif  $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_d)$ 

Bangkitkan inisial populasi  $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ ;
 $\alpha, \beta_0$ , dan  $\gamma$ ;

while ( $t < \text{MaxGeneration}$ ) do
    Evaluasi fungsi objektif pada tiap kunang-kunang ;
    for  $i = 1:n$  do
        for  $j=1:n$  do
            Hitung jarak antar kunang-kunang dengan menggunakan persamaan (2);
            Hitung fungsi keatraktifan dengan menggunakan persamaan (3);
            if ( $I_j > I_i$ ) then
                Gerakan kunang-kunang  $i$  menuju  $j$  dengan menggunakan persamaan (3);
            end
        end
    end
    Urutkan kunang-kunang berdasarkan tingkat intensitas cahaya yang terbesar;

End

```

**Gambar 1.** Pseudocode FA

dan berlaku

$$T - D = 0 \rightarrow T = D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D.$$

Dalam melakukan analisis prestasi terbang jelajah pesawat LSU-05 ada dua parameter yang akan dihitung yaitu jangkauan terbang (*Range*) dan lama terbang (*Endurance*). Untuk menghitung parameter tersebut diasumsikan bahwa terbang jelajah dilakukan pada sudut serang  $\alpha$  yang konstan, mesin di atur pada *power* tertentu dan konstant serta efisiensi propeller juga dianggap konstan. Perubahan yang terjadi ada pada perubahan berat pesawat karena berkurangnya bahan bakar (*fuel*). Dengan anggapan tersebut maka faktor sistem propulsi  $\frac{\eta_p}{c_p}$  dan faktor efisiensi aerodinamika  $\frac{C_L}{C_D}$  bernilai konstan, sehingga diperoleh Persamaan Breguet (*Breguet Formula*)

$$\text{Max Range}(V_{cr}, W_2) = \frac{V_{cr} C_L}{\eta c_p C_D} \ln \left( \frac{w_1}{w_2} \right) \quad (1)$$

Sementara itu dalam menghitung parameter lama terbang jelajah (*Endurance*) digunakan persamaan

$$E = \int_{w_2}^{w_1} \frac{1}{F} dW$$

dimana

$$F = \frac{c_p c_D}{\eta_p c_L} WV = \frac{c_p c_D}{\eta_p c_L} W \sqrt{\frac{2W}{S\rho c_L}} = \frac{c_p}{\eta_p} W \sqrt{\frac{2W c_D^2}{S\rho c_L^3}}$$

sehingga dengan menggunakan asumsi yang sama dengan perhitungan parameter jangkauan terbang (*Range*) diperoleh persamaan lama terbang (*Endurance*) adalah

$$E = \int_{w_2}^{w_1} \frac{\eta_p}{c_p} \frac{1}{W} \frac{1}{\sqrt{\frac{2W c_D^2}{S\rho c_L^3}}} dW = \frac{\eta_p}{c_p} \sqrt{S \frac{\rho c_L^3}{2 c_D^2}} \int_{w_2}^{w_1} \frac{1}{W\sqrt{W}} dW = 2 \frac{\eta_p}{c_p} \sqrt{S \frac{\rho c_L^3}{2 c_D^2}} \left[ \frac{1}{\sqrt{w_2}} - \frac{1}{\sqrt{w_1}} \right]$$

Persamaan tersebut digunakan karena sistem propulsi pesawat LSU-05 menggunakan *propeller*, sementara itu untuk propulsi jet mempunyai persamaan yang sedikit berbeda dimana tidak ada efisiensi dari *propeller*. Efisiensi *propeller* yang digunakan dalam analisis ini menggunakan persamaan yang diambil dari daya yang tersedia atau digunakan untuk terbang jelajah. Persamaan yang digunakan adalah

$$\frac{T}{\rho S V^2} = \frac{2(1 - \eta_1)}{\eta_1^2}$$

$$\frac{T}{\rho S V^3} = \frac{2(1 - \eta_1)}{\eta_1^3}$$

Nilai efisiensi yang diperoleh dari persamaan diatas merupakan nilai batas tertinggi efisiensi teoritik (*theoretical upper limit of propeller efficiency*). Selain perhitungan efisiensi *propeller*, dalam menghitung prestasi terbang jelajah pesawat diperlukan data daya yang digunakan, dalam hal ini daya yang digunakan adalah sebesar 11.5 HP [3]. Daya tersebut adalah yang paling memungkinkan optimum digunakan untuk fasa *cruise*. Dengan demikian fungsi objektif yang digunakan untuk mencari titik optimum global *Endurance* menjadi

$$E = 2 \frac{\eta_p}{c_p} \sqrt{S \frac{\rho c_L^3}{2 c_D^2}} \left[ \frac{1}{\sqrt{w_2}} - \frac{1}{\sqrt{w_1}} \right] \quad (2)$$

Karena dalam persamaan diatas tidak terdapat variabel kecepatan. Oleh karena itu menurut [4] kecepatan saat terbang jelajah adalah

$$V_{Cr} = \sqrt{\frac{w_1}{S} \frac{2}{\rho} \frac{1}{c_L}} \quad (3)$$

Kemudian substitusikan persamaan (3) ke persamaan (2) menjadi

$$Max\ Endurance\ (V_{Cr}, W_2) = 2 \frac{\eta_p c_L}{c_p c_D V_{Cr}} \frac{1}{V_{Cr}} \left[ \sqrt{\frac{W_1}{W_2}} - 1 \right] \quad (4)$$

dimana  $W_{Empty} = 31$  kgf adalah berat kerangka pesawat,  $W_{Payload} = 30$  kgf adalah berat muatan maksimum,  $W_1 = 77$  kgf adalah berat sebelum memasuki terbang jelajah,  $W_2 = W_{Empty} + W_{payload} = 31$  kgf + 30 kgf = 61 kgf adalah berat setelah selesai melewati fase terbang jelajah,  $V_{Cr}$  adalah kecepatan saat terbang jelajah,  $c_L$  adalah koefisien *lift*,  $c_D$  adalah koefisien *drag*,  $\eta_p$  adalah efisiensi *propeller*.

Data yang digunakan dalam percobaan ini adalah data spesifikasi LSU-05 yang terdapat pada Tabel 1. Pada pengoperasian terbang jelajah terdapat dua hal yang berkaitan yakni seberapa jauh atau dekat jarak dan seberapa lama atau cepat waktu yang dihasilkan. Jarak maksimal merupakan jarak dimana pesawat dapat terbang *Take Off* dan *Landing* dengan bahan bakar yang terbatas. LSU-05 memiliki kendala saat terbang jelajah yakni kecepatan yang bekisar antara 60 km/h sampai 110 km/h dan berat pesawat awal bekisar 61 kgf sampai 77 kgf.

**Tabel 1** Karakteristik LSU-05 yang digunakan dalam perhitungan [5].

$V_{Cr}$	: 60	$\eta$	: 0.85 atau 85%
$C_p$ (Range)	: 1,1765	$C_L$	: 0,532
$C_D$	: 0.038	$W_1$	: $61 \leq W_1 \leq 77$ Kg
$W_2$	: 61 kg	$C_p$ (Endurance)	: $4,37 \times 10^{-5}$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Optimisasi Jarak (*Range*) Saat Terbang Jelajah Menggunakan FA.

Berikut ini adalah fungsi objektif *range* yang akan dijadikan acuan sebagai intensitas cahaya pada FA. Pada kasus ini kunang-kunang akan bergerak menuju kunang-kunang lain yang memiliki intensitas cahaya yang lebih baik.

$$max\ Range(V_{Cr}, W_1) = 42.22 V_{Cr} \ln \frac{W_1}{61} \quad (6)$$

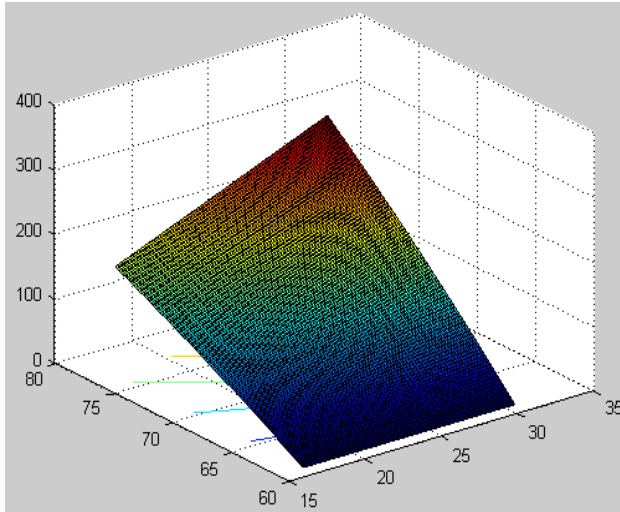
$$60 \leq V_{Cr} \leq 110$$

$$61 \leq W_1 \leq 77.$$

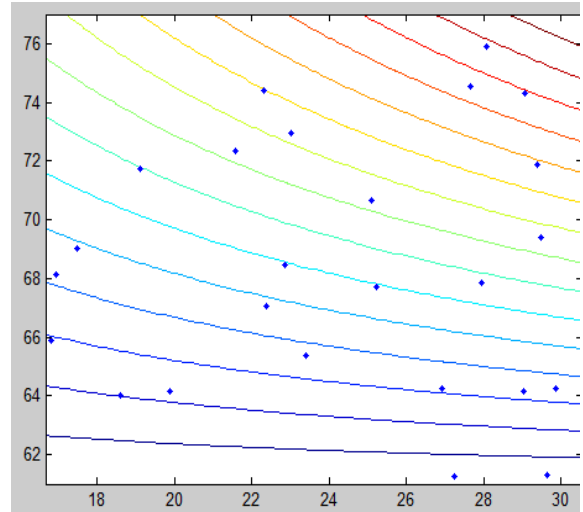
Parameter yang digunakan dalam percobaan FA yaitu  $\alpha = 0.6$ ,  $\gamma = 1$  dan  $\beta_0 = 1$ . Berdasarkan hasil percobaan dengan menentukan jumlah populasi 25 kunang-kunang dan 100 *MaxGeneration* maka diperoleh solusi global  $R(V_{Cr}, W_1) = R(110, 77) = 300,44$  dapat dijelaskan bahwa dengan kecepatan 110 km/h dan bobot awal pesawat 77 kg maka *range* maksimum yang diperoleh LSU-05 adalah 300,44 km. Gambar 2 merupakan visualisasi dari fungsi objektif *range*. Jumlah 25 populasi kunang-kunang kemudian disebar secara *random* dengan posisi awal yang diperlihatkan dalam Gambar 3 kemudian bergerak sebanyak 100

## Optimisasi *Range* dan *Endurance* saat Terbang Jelajah Menggunakan *Firefly Algorithm*

*MaxGeneration* sehingga posisi akhir dapat diperlihatkan dalam Gambar 4. Dapat dilihat bahwa kunang-kunang bergerak berkumpul menuju garis kontur yang lebih terang warnanya.



**Gambar 2.** Grafik 2D Fungsi *Range*



**Gambar 3.** Posisi awal 25 kunang-kunang

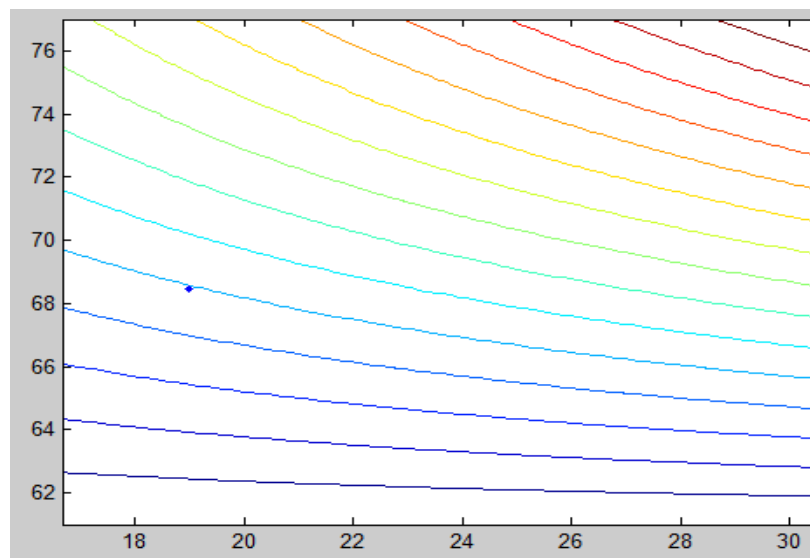
## Optimisasi Waktu Tempuh (*Endurance*) Saat Terbang Jelajah Menggunakan FA

Berikut ini adalah fungsi objektif dari optimisasi *endurance*.

$$\max \text{Endurance}(V_{cr}, W_2) = \frac{634557.53}{V_{cr}} \left[ \sqrt{\frac{W_1}{61}} - 1 \right] \quad (7)$$

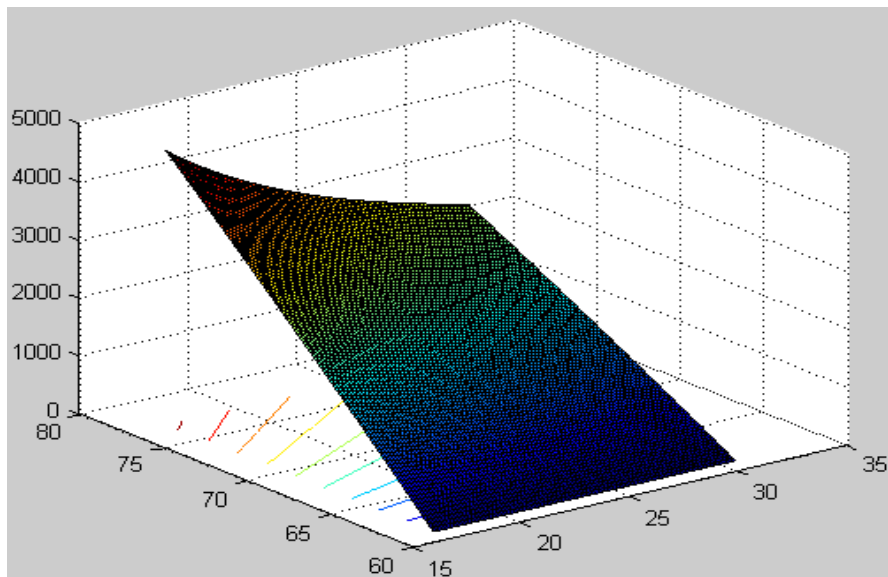
$$60 \leq V_{cr} \leq 110$$

$$61 \leq W_1 \leq 77$$

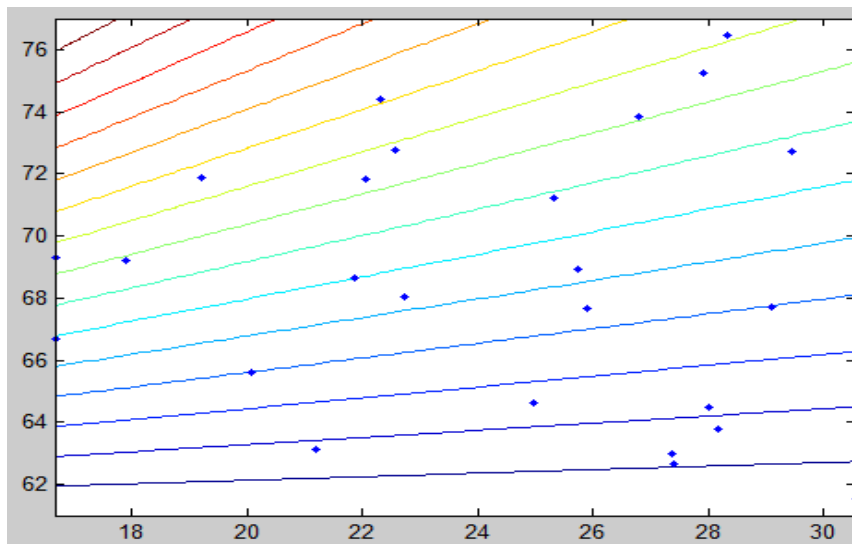


**Gambar 4.** Posisi akhir 25 kunang-kunang setelah 100 iterasi.

Parameter yang digunakan dalam percobaan FA yaitu  $\alpha = 0.8$ ,  $\gamma = 1$  dan  $\beta_0 = 1$ . Berdasarkan hasil percobaan dengan menentukan jumlah populasi 25 kunang-kunang dan 100 *Max Generation* maka diperoleh solusi global  $E(V_{Cr}, W_1) = E(60.12, 77) = 4701.9$  dapat dijelaskan bahwa dengan kecepatan 60.12 km/h dan bobot awal pesawat 77 kg maka *endurance* maksimum yang diperoleh LSU-05 adalah 4701.9 km. Gambar 5 merupakan visualisasi dari fungsi objektif *endurance*. Jumlah 25 populasi kunang-kunang kemudian disebar secara *random* dengan posisi awal yang diperlihatkan dalam Gambar 6 kemudian bergerak sebanyak 100 Max Gen sehingga posisi akhir dapat diperlihatkan dalam Gambar 7. Posisi akhir kunang-kunang menunjukkan bahwa kunang-kunang bergerak kemudian berkumpul menuju garis kontur yang lebih terang warnanya.

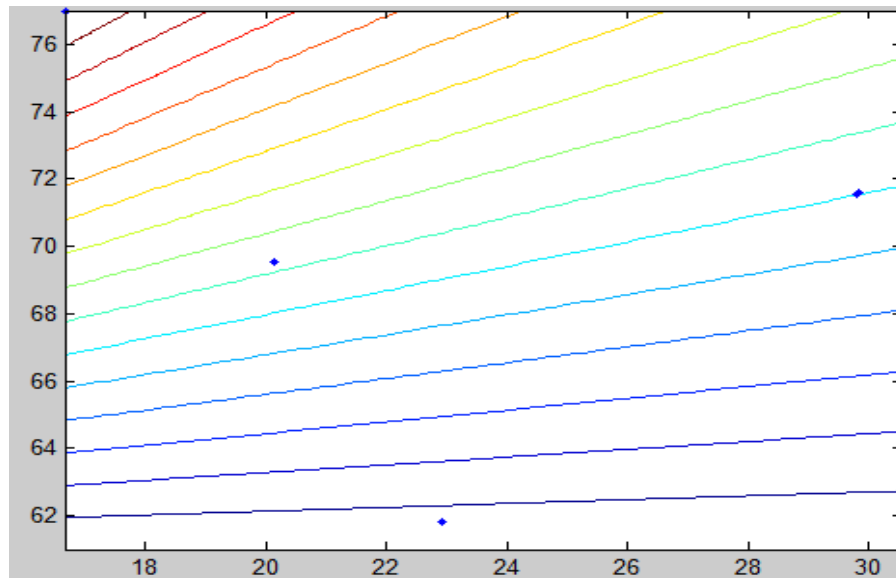


**Gambar 5.** Grafik 2D Fungsi *Endurance*.



**Gambar 6.** Posisi awal 25 kunang-kunang untuk Fungsi *Endurance*.





**Gambar 7.** Posisi akhir 25 kunang-kunang setelah 100 iterasi Fungsi *Endurance*

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan menggunakan FA yang telah dilakukan pada fungsi uji optimisasi, fungsi *range* dan fungsi *endurance* maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan percobaan FA dengan 25 kunang-kunang dan 100 iterasi terhadap fungsi *range* solusi yang diperoleh yaitu LSU-05 mampu terbang maksimal sejauh 300.44 km dan kecepatan jelajah maksimal 30.55 m/s atau 110 km/h dengan bobot awal ( $W_1$ ) sebesar 77 kgf.
2. Setelah dilakukan percobaan FA dengan 25 kunang-kunang dan 100 iterasi terhadap fungsi *Endurance* solusi yang diperoleh yaitu LSU-05 mampu terbang selama 1.3 jam dan kecepatan jelajah maksimal 60.12 km/h dengan bobot awal ( $W_1$ ) sebesar 77 kg.

## REFERENSI

- [1] Pinindriya, Sinung Tirtha. 2013. *Karakteristik Aerodinamika Sayap PTA LSU-05 Dengan Simulasi CFD*. LAPAN Rumpin. Bogor.
- [2] Yang, X.S. 2009. *Firefly Algorithm for Multimodal Optimization*. Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, SAGA 2009, Lecture Notes in Computer Sciences, Vol. 5792, pp. 169-178.
- [3] Soemaryanto, Arifin Rasyadi. 2015. *Analisis Prestasi Terbang Pesawat LSU-05 B01 dengan metode Point Performance*. Technical Report LAPAN.
- [4] Rujgok, G.J.J. 1990. *Elements of Airplane Performance*. Netherlands: Delft University Press.
- [5] Pratomo, Bangga, Hendrix Novianto & M Ardi Cahyono. 2013. Perancangan dan Pembuatan Platform UAV Radio Control Kolibri-08v2 dengan Mesin Thunder Tiger 46 Pro. Sekolah Tinggi Teknologi Penerbangan. Yogyakarta. Volume V.