

# Optimasi Gerakan Heliks untuk Meningkatkan Performa Algoritme Alga pada Desain *Pressure Vessel*

Hari Santoso<sup>1</sup>, Muhammad Aziz Muslim<sup>2</sup>, Agus Naba<sup>3</sup>

**Abstract**—Artificial Algae Algorithm (AAA) is an optimization algorithm that takes advantage of the swarm and evolutionary models. AAA consists of three phases, which are helical movement, reproduction, and adaptation. Helical movement is a three-dimensional motion which is highly influential in the convergence rate and diversity of solutions. Optimization of helical movement aims to increase the rate of convergence by moving the algae to the best colony in the population. Best colony in population is the closest to the best light source (the target solution), so that the movement is called Best Light Movement (BLM). AAA with movement toward the best light source (AAA-BLM) is tested and implemented in the case of pressure vessel design optimization. The test results indicate that the execution time of AAA-BLM increases 1,103 times faster than AAA. The increase in speed is caused by the tournament selection of AAA which is performed before the helical movement, while the AAA-BLM is conducted if a solution after the movement is not better than previous one. In the best condition, AAA-BLM finds a solution 4,5921 times faster than AAA. In the worst condition, AAA-BLM get stuck in local optima due to helical movement is too focused on the global best which may not be the global optima.

**Intisari**—Algoritme Alga (*Artificial Algae Algorithm*, AAA) merupakan algoritme optimasi yang memiliki kelebihan dari algoritme model *swarm* dan model evolusi. AAA terdiri atas tiga fase yaitu fase gerakan heliks, reproduksi, dan adaptasi. Gerakan heliks merupakan gerakan tiga dimensi dengan arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  yang sangat berpengaruh pada laju konvergensi dan keragaman solusi. Optimasi gerakan heliks bertujuan untuk meningkatkan laju konvergensi, yaitu dengan menggerakkan alga menuju koloni terbaik dalam populasi. Koloni terbaik dalam populasi adalah koloni yang paling dekat dengan sumber cahaya terbaik (target solusi), sehingga gerakan ini disebut *Best Light Movement* (BLM). AAA dengan gerakan menuju sumber cahaya terbaik (AAA-BLM) diuji dan diimplementasikan pada kasus optimasi desain *pressure vessel*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu eksekusi AAA-BLM meningkat 1.103 kali lebih cepat dari AAA. Peningkatan kecepatan tersebut disebabkan oleh proses *tournament selection* pada AAA dilakukan sebelum gerakan heliks, sedangkan pada AAA-BLM dilakukan apabila solusi setelah gerakan tidak lebih baik dari sebelumnya. Pada kondisi terbaik, AAA-BLM menemukan solusi

4.5921 kali lebih cepat dari AAA. Pada kondisi terburuk, AAA-BLM terjebak pada *local optima* karena gerakan heliks terlalu fokus pada *global best* yang belum tentu *global optima*.

**Kata Kunci**— Algoritme Alga, Optimasi, Laju Konvergensi, Desain *Pressure Vessel*.

## I. PENDAHULUAN

Peran kecerdasan komputasional sangat penting sebagai alat bantu dalam pencarian solusi dari berbagai permasalahan kompleks di berbagai bidang, seperti penyelesaian kasus *Optimal Power Flow* (OPF) pada sistem kelistrikan [1], analisis pembebanan ekonomis pada pembangkit termis [2], sistem pendeteksi penyusup jaringan komputer [3], pengontrol kecepatan DC/DC *converter* [4], dan masalah kompleks lainnya. Permasalahan kompleks tersebut seringkali memiliki banyak kandidat solusi sehingga dibutuhkan algoritme yang mampu memilih solusi yang optimal yang disebut dengan algoritme optimasi [5].

Hingga saat ini, penelitian terus dilakukan untuk memperoleh algoritme optimasi dengan performa yang baik, sebab tidak semua masalah dapat diselesaikan dengan satu jenis algoritme [6]. Perkembangan algoritme optimasi sudah sampai pada model *hybrid* [7], yaitu kombinasi antara model *swarm* dan model evolusi [8] - [13], salah satunya adalah Algoritme Alga (*Artificial Algae Algorithm*, AAA). Algoritme Alga [14] adalah algoritme yang terinspirasi perilaku alga dalam bergerak, berkembang biak, dan beradaptasi dengan lingkungan. AAA lebih stabil daripada *Artificial Bee Colony* (ABC), *Differential Evolution* (DE), *Ant Colony Optimization* (ACO), dan *Harmony Search* (HS). Meskipun AAA lebih stabil, gerakan alga yang dilakukan secara acak mempengaruhi laju konvergennya.

Penelitian pada makalah ini dimaksudkan untuk mengoptimasi gerakan heliks pada AAA sehingga AAA memiliki laju konvergensi lebih baik. Gerakan heliks AAA terinspirasi oleh perilaku alga pada kehidupan nyata. Koloni alga mencerminkan kandidat solusi, individu alga mencerminkan dimensi ruang solusi, dan sumber cahaya sebagai target solusi. Pada AAA versi standar, alga bergerak secara acak dan hanya dipengaruhi oleh koloni tetangga (*local best*). Menurut peneliti, koloni alga akan cenderung bergerak ke arah target solusi yang paling baik, yaitu koloni yang mendapatkan cahaya paling kuat dalam populasi. Dalam hal ini, AAA dengan gerakan heliks menuju cahaya terkuat disebut dengan AAA with *Best Light Movement* (AAA-BLM) karena gerakan alga pada AAA-BLM tidak hanya terpengaruh oleh koloni terbaik tetangga (*local best*) tetapi juga bergerak menuju koloni terbaik dalam populasi (*global best*).

<sup>1</sup>Program Magister Teknik Elektro Minat Sistem Komunikasi dan Informatika Universitas Brawijaya Malang, Jl. Veteran Malang, Jawa Timur, Indonesia 65145 (telp: 0341-551611; fax: 0341565420; e-mail: haripinter@gmail.com)

<sup>2</sup>Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang, Jl. Veteran Malang, Jawa Timur, Indonesia 65145 (telp: 0341-551611; fax: 0341565420; e-mail: muh\_aziz@ub.ac.id)

<sup>3</sup>Prodi Instrumentasi Universitas Brawijaya Malang, Jl. Veteran Malang, Jawa Timur, Indonesia 65145 (telp: 0341-551611; fax: 0341565420; e-mail: anaba@ub.ac.id)

Hasil optimasi akan ditentukan dengan membandingkan AAA dengan AAA-BLM pada kasus optimasi desain bejana tekan (*pressure vessel*) [15]. Performa ditentukan berdasarkan laju konvergensi dan kompleksitas waktu dalam menemukan solusi. Dengan optimasi ini, diharapkan terjadi peningkatan pada performa AAA sehingga dapat menjadi alternatif dalam pencarian solusi dari permasalahan kompleks dalam kehidupan sehari-hari.

II. ALGORITME ALGA

AAA merupakan algoritme optimasi yang terinspirasi oleh cara alga bergerak, berkembang biak, dan beradaptasi. AAA mengombinasikan model evolusi dan model *swarm*. Algoritme ini merupakan algoritme optimasi dengan pendekatan probabilistik dan mampu menyelesaikan masalah *global optimization*. AAA memiliki tiga tahapan yaitu pergerakan heliks, evolusi, dan adaptasi.

A. Tahap Gerakan Heliks

Alga adalah sel tunggal yang memiliki klorofil sebagai penghasil energi sehingga alga akan bergerak mendekati cahaya untuk menghasilkan energi. Alga bergerak dengan cara melingkar seperti spiral yang disebut dengan gerakan heliks. Gerakan heliks adalah gerakan tiga dimensi, yaitu pada sumbu x, y, dan z. Setiap alga bergerak, alga akan kehilangan energi karena bergesekan dengan cairan sekitar sehingga energi yang dihasilkan juga akan berkurang selama perjalanan. Gerakan heliks ditentukan dengan (1) - (3).

$$x_{im}^{t+1} = x_{im}^t + (x_{jm}^t - x_{im}^t)(\Delta - \tau^t(x_i))p \tag{1}$$

$$x_{ik}^{t+1} = x_{ik}^t + (x_{jk}^t - x_{ik}^t)(\Delta - \tau^t(x_i)) \cos \alpha \tag{2}$$

$$x_{il}^{t+1} = x_{il}^t + (x_{jl}^t - x_{il}^t)(\Delta - \tau^t(x_i)) \sin \beta \tag{3}$$

Pada (1) - (3),  $x'_i$  adalah koloni alga ke- $i$  pada waktu ke- $t$ . Koloni tetangga  $x_i$  dipilih dengan *tournament selection* dengan syarat  $x_j \neq x_i$  dan individu alga  $k \neq l \neq m$ . Parameter  $\Delta$  adalah gaya gesek cairan, sedangkan  $\tau^t(x_i)$  adalah gaya gesek yang dialami alga ke- $i$ . Persamaan (1) adalah gerakan pada sumbu z, dengan nilai  $p$  dipilih acak [-1,1]. Persamaan (2) adalah gerakan pada sumbu x dengan  $\alpha$  dipilih acak  $[0, 2\pi]$ . Persamaan (3) adalah gerakan pada sumbu y dengan  $\beta$  dipilih acak  $[0, 2\pi]$ .

B. Tahap Evolusi

Koloni alga yang kehabisan energi akan mati, sedangkan koloni alga yang kuat akan berkembang biak dengan membelah diri. Kebugaran koloni alga ditentukan berdasarkan laju perkembangbiakannya. Laju perkembangbiakan alga  $\mu$  ditentukan dengan (4) yang ditentukan dengan laju perkembangbiakan maksimum  $\mu_{max}$  pada satuan waktu (1/waktu), kondisi alga S, dan  $K_s$  konstanta cairan (massa/volume).

$$\mu = \frac{\mu_{max}S}{K_s+S} \tag{4}$$

Koloni yang memiliki kebugaran tinggi akan bertahan hidup sedangkan koloni dengan kebugaran rendah akan mati.

Tingkat kebugaran koloni  $G$  dihitung dengan (5) dan proses evolusi ditentukan pada (6) - (8) dengan *biggest* adalah koloni terbugar, *smallest* koloni terlemah, dan  $m$  adalah individu alga.

$$G_i^{t+1} = \mu_i^t G_i^t, i=1, 2, \dots, N \tag{5}$$

$$biggest^t = \max G_i^t, i = 1, 2, \dots, N \tag{6}$$

$$smallest^t = \min G_i^t, i = 1, 2, \dots, N \tag{7}$$

$$smallest_m^t = biggest_m^t, m = 1, 2, \dots, G \tag{8}$$

C. Tahap Adaptasi

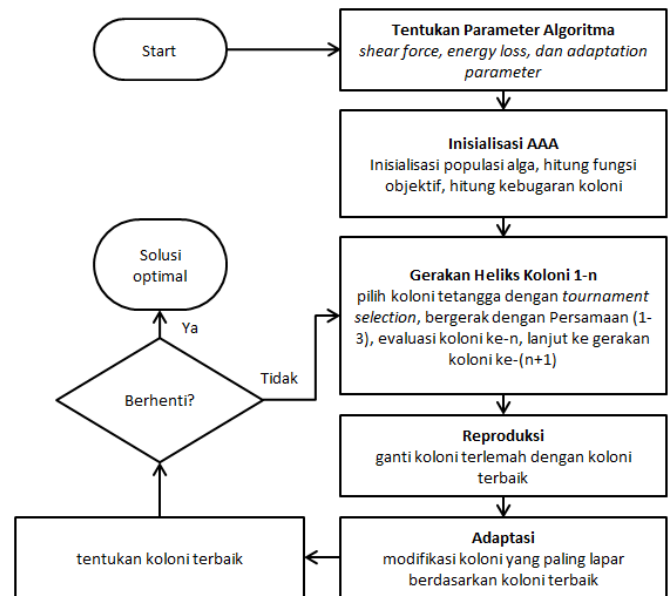
Ketika koloni alga melemah, maka alga akan mencoba beradaptasi dengan lingkungan dengan menyesuaikan diri pada alga terbugar. Alga yang lemah diindikasikan dengan tingkat kelaparan yang tinggi. Semakin jauh alga dari sumber cahaya dan semakin lama alga bergerak akan menambah tingkat kelaparan alga. Tingkat kelaparan alga, *starving*, ditentukan berdasarkan kebugaran alga yang didefinisikan dengan (9) - (10).

$$starving^t = \max A_i^t, i = 1, 2, \dots, N \tag{9}$$

$$starving^{t+1} = starving^t + (biggest^t + starving^t) \times rand \tag{10}$$

D. Flowchart dan Pseudocode Algoritme Alga

Flowchart dan pseudocode dan algoritme Alga terdapat pada Gbr. 1 dan Gbr. 2.

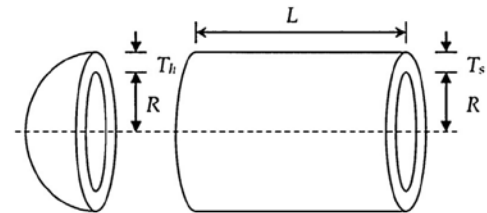


Gbr. 1 Flowchart AAA versi standar.

III. PERMASALAHAN DESAIN PRESSURE VESSEL

Pada makalah ini, tujuan dari permasalahan desain *pressure vessel* adalah untuk menentukan ukuran dan dimensi *pressure vessel* dengan volume 21.24 m<sup>3</sup> dan bekerja pada tekanan 3000 psi (20.68 MPa) dengan *cost* yang rendah. Desain *pressure vessel* tampak pada Gbr. 3, berbentuk silinder dengan masing-masing tutup ujungnya berbentuk setengah lingkaran. Hasil optimasi ditentukan oleh empat parameter,  $T_s(x_i)$  dan

Th ( $x_2$ ) masing-masing bernilai 1.125 inci dan 0.0625 inci, sedangkan jari-jari dalam bejana R ( $x_3$ ) dan panjang silinder L ( $x_4$ ) tidak ditentukan nilainya.



Gbr. 3 Skema desain *pressure vessel* dengan ketebalan  $T_s$  dan  $T_h$ , diameter dalam R dan panjang silinder L.

```

Fungsi objektif untuk optimasi  $f(x)$ ,  $x=(x_1, x_2, \dots, x_d)$ 
Inisialisasi populasi  $n$  koloni alga secara random
Hitung tingkat kebugaran ( $G$ ) dari  $n$  koloni
Tentukan parameter algoritme (shear force  $\Delta$ , loss of energy  $e$ 
dan Adaptation parameter  $A_p$ )
While ( $t < \text{MaxCalculation}$ )
    Hitung Energi ( $E$ ) dan gaya gesek koloni ( $\tau$ ) dari  $n$  koloni
    For  $i=1:n$ 
        Tingkat kelaparan koloni (starving) = true
        While( $E(x_i) > 0$ )
            Pilih koloni alga  $j$  dengan tournament selection
            Pilih tiga individu alga untuk pergerakan heliks ( $k, l, m$ )
             $x_{im}^{t+1} = x_{im}^t + (x_{jm}^t - x_{im}^t)(\Delta - \tau^t(x_i))p$ 
             $x_{ik}^{t+1} = x_{ik}^t + (x_{jk}^t - x_{ik}^t)(\Delta - \tau^t(x_i)) \cos \alpha$ 
             $x_{il}^{t+1} = x_{il}^t + (x_{jl}^t - x_{il}^t)(\Delta - \tau^t(x_i)) \sin \beta$ 
            Sudut  $\alpha, \beta$  random  $[0, 2\pi]$  dan nilai  $p$  juga random  $[-1, 1]$ 
            Hitung solusi sesuai fungsi optimasi
             $E(x_i) = E(x_i) - (e/2)$  energi dipakai untuk bergerak
            if solusi lebih baik dari sebelumnya
                Ganti koloni  $i$  dan ganti tingkat kelaparan  $i = \text{false}$ 
            else
                 $E(x_i) = E(x_i) - (e/2)$  energi dipakai untuk metabolisme
            end if
        end While
    end For
    if Tingkat kelaparan = true
        Naikkan nilai starving  $A(x_i)$ 
    end if
end For
Hitung tingkat kebugaran ( $G$ ) seluruh populasi
Pilih salah satu dimensi (individu alga)  $r$  untuk reproduksi
 $\text{smallest}_r = \text{biggest}_r$ 
if  $\text{rand} < A_p$ 
     $\text{starving}^{t+1} = \text{starving}^t + (\text{biggest}_r - \text{starving}^t) \times \text{rand}$ 
end if
pilih koloni terbaik sebagai solusi
end While

```

Gbr. 2 Pseudocode AAA versi standar.

Peneliti sebelumnya [16] telah melakukan penelitian tentang desain *pressure vessel* dengan berbagai parameter dan *constrain*. Hasil dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa *range* parameter, *constrain*, dan fungsi minimasi ditentukan dengan ketentuan berikut:

Parameter :

$$x_1 \in [1.125, 12.5] \text{ granularity } 0.0625$$

$$x_2 \in [0.625, 12.5] \text{ granularity } 0.0625$$

$$x_3 \in [0.240]$$

$$x_4 \in [0.240]$$

Constrain :

$$g_1(x) = 0.0193x_3 - x_1 \leq 0$$

$$g_2(x) = 0.0095x_3 - x_2 \leq 0$$

$$g_3(x) = 750.0 \times 1728.0 - \pi x_3^2 x_4 - \frac{4}{3} \pi x_3^3 \leq 0$$

$$g_4(x) = x_4 - 240.0 \leq 0$$

$$g_5(x) = 1.1 - x_1 \leq 0$$

$$g_6(x) = 0.6 - x_2 \leq 0$$

Fungsi minimasi :

$$f(x) = 0.06224x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1611x_1^2x_4 + 19.84x_1^2x_3$$

Nilai optimum yang diperoleh yaitu  $f(x) = 7197.72893$  dengan nilai parameter  $x_1 = 1.125$ ,  $x_2 = 0.625$ ,  $x_3 = 58.2901554$ , serta  $x_4 = 43.6926562$ .

#### IV. OPTIMASI GERAKAN HELIKS

Optimasi gerakan heliks pada AAA-BLM didasarkan pada perilaku alami alga, yaitu koloni alga yang lebih dekat dengan cahaya akan memiliki kebugaran lebih baik dari alga yang jauh dari cahaya. Dengan demikian, setiap koloni alga akan cenderung mendekat dengan koloni alga terbaik untuk mendapatkan cahaya lebih banyak. Dalam hal ini, koloni terbaik dalam populasi disebut dengan *global best*, sedangkan koloni terbaik tetangga disebut dengan *local best*. Untuk mengoptimasi gerakan heliks sesuai perilaku tersebut, ada tiga tahap yang harus dilakukan, yaitu pemilihan *local best* dan *global best*, gerakan heliks, serta pengondisian gerakan alga.

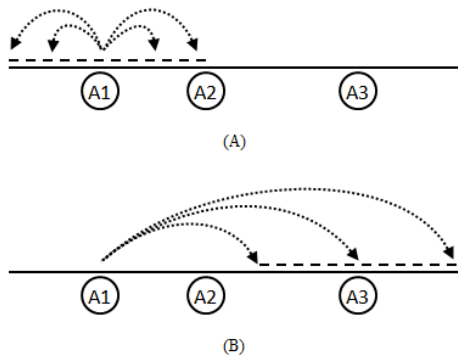
##### A. Pemilihan *Global Best* dan *Local Best*

Pemilihan koloni alga sebagai *local best* atau *global best* ditentukan setelah perhitungan fungsi objektif (minimasi atau maksimasi) yaitu saat inisialisasi koloni, setelah fase gerakan heliks, dan setelah fase adaptasi. Pemilihan *local best* dan *global best* saat inisialisasi dan setelah fase adaptasi dilakukan dengan memilih koloni terbaik sebagai *local best* dan *global best*. Sedangkan pemilihan *local best* dan *global best* setelah gerakan heliks ditentukan dengan tiga kriteria sebagai berikut.

- Jika alga menjadi lebih baik setelah gerakan heliks, maka alga dijadikan sebagai koloni terbaik tetangga (*local best*);
- Jika alga menjadi yang terbaik setelah gerakan heliks, maka alga dijadikan sebagai koloni terbaik (*global best*);
- Jika alga tidak lebih baik setelah gerakan heliks, maka *local best* dipilih dengan *tournament selection*.

**B. Gerakan Heliks**

Berdasarkan gerakan yang merferensi pada koloni alga terbaik (*global best*) dan koloni terbaik tetangga (*local best*), maka gerakan heliks hasil optimasi akan cenderung bergerak menuju posisi *global best*. Ilustrasi gerakan tampak pada Gbr. 4, A1 adalah alga yang sedang bergerak, A2 adalah *local best* dan A3 adalah *global best*. Secara komputasi, gerakan heliks pada AAA tampak seperti Gbr. 4A menunjukkan area gerakan berada di sekitar posisi awal alga sejauh *local best* yang terpilih. Setelah optimasi, gerakan alga tampak seperti Gbr. 4B yang menunjukkan gerakan alga akan mengarah ke sekitar posisi *global best*.



Gbr. 4 Gerakan heliks AAA, (A) versi standar, (B) setelah optimasi.

Berdasarkan rancangan gerakan pada Gbr. 4B, gerakan heliks setelah optimasi didefinisikan pada (11) - (14).

$$x_c^t = \frac{x_B + x_b}{2} \tag{11}$$

$$x_{im}^{t+1} = x_{Bm}^t + (x_{cm}^t - x_{im}^t)(\Delta - \tau^t(x_i))p \tag{12}$$

$$x_{ik}^{t+1} = x_{Bk}^t + (x_{ck}^t - x_{ik}^t)(\Delta - \tau^t(x_i)) \cos \alpha \tag{13}$$

$$x_{il}^{t+1} = x_{Bl}^t + (x_{cl}^t - x_{il}^t)(\Delta - \tau^t(x_i)) \sin \beta \tag{14}$$

Perubahan dilakukan pada  $x_B$ ,  $x_b$ , dan  $x_c$  dengan  $x_B$  adalah *global best*,  $x_b$  adalah *local best*, dan  $x_c$  rata-rata antara *global best* dan *local best*. Koloni terbaik  $x_B$  dan koloni terbaik tetangga  $x_c$  berubah selama perulangan  $t$  dengan dimensi  $k$ ,  $l$ , dan  $m$  yang merepresentasikan individu dalam koloni tersebut.

**C. Pengondisian Gerakan**

Sebagaimana disebutkan bahwa gerakan heliks sangat berpengaruh pada keragaman solusi dan laju konvergensi, maka diperlukan aturan untuk mengondisikan gerakan agar AAA tidak terjebak pada *local optima*. Berdasarkan Gbr. 4, gerakan alga akan meningkatkan daya eksploitasi terhadap solusi terbaik dan mengabaikan kandidat solusi lainnya. Oleh

sebab itu, perlu pembatasan agar gerakan alga tidak hanya menguat untuk mengeksploitasi, tetapi juga untuk eksplorasi terhadap kandidat solusi lainnya. Untuk membatasi daya eksploitasi, perilaku berikut dapat diterapkan pada AAA.

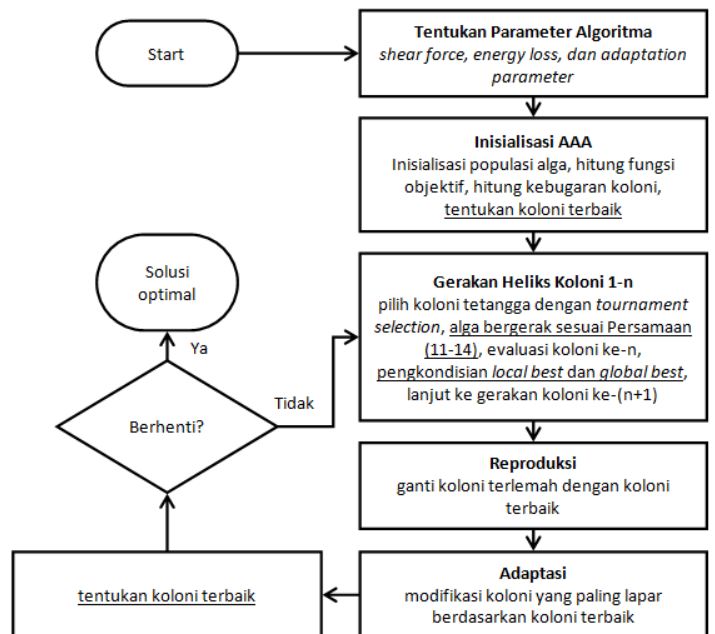
- Jika alga lebih baik setelah gerakan heliks, energi yang dimiliki bertambah karena lebih dekat dengan cahaya.
- Jika alga menjadi yang terbaik, maka alga harus diam. Perilaku ini bertujuan agar alga lain tidak terjebak jika solusi yang ditemukan adalah *local optima*.
- Jika alga tidak lebih baik setelah gerakan heliks, maka alga terus bergerak hingga energinya habis. Tujuannya untuk meningkatkan daya eksplorasi kandidat solusi yang jauh dari solusi.

Perilaku pengondisian tersebut diterapkan saat pemilihan *global best* dan *local best* seperti tampak dalam *pseudocode* pada Gbr. 5. *Flowchart* AAA-BLM dapat dilihat pada Gbr. 6. Keterangan yang digaris bawah adalah bagian yang bertambah atau berubah setelah optimasi.

```

Pilih Algai
Algai melakukan gerakan heliks
JIKA solusi(Algai) lebih baik dari solusi(Algait-1)
    Local_Best = Algai
    Tingkatkan nilai Energi_Algai agar lebih lama bergerak
    JIKA solusi(Algai) lebih baik dari solusi(Global_Best)
        Global_Best = Algai
        Hilangkan Energi_Algai agar berhenti bergerak
    JIKA TIDAK
        Local_Best dipilih dengan tournament selection
    
```

Gbr. 5 *Pseudocode* kriteria pemilihan *global best* dan *local best* serta pengondisian gerakan alga.

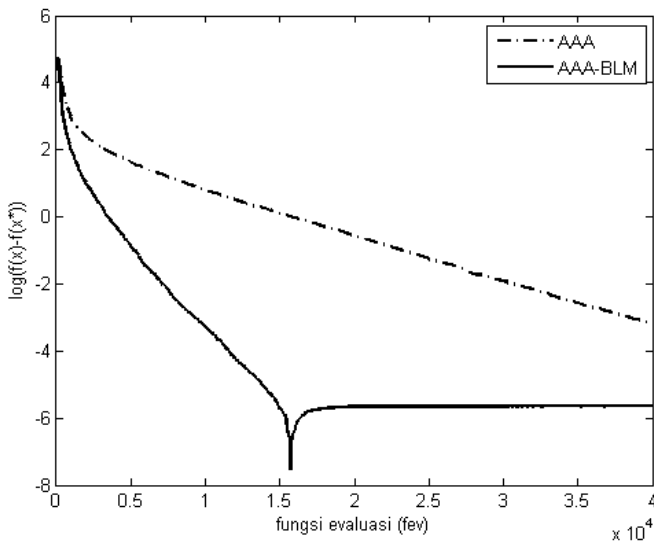


Gbr. 6 *Flowchart* Algoritme Alga setelah optimasi (AAA-BLM).

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil solusi AAA dan AAA-BLM berdasarkan kasus minimasi desain *pressure vessel*. Spesifikasi komputer yang digunakan yaitu *processor* Core 2 Duo 1.6GHz, RAM 1 x DDR2 2GB, dan *harddisk* Seagate 250 GB. *Software* yang digunakan adalah Matlab 2013a dengan bilangan random *uniform* menggunakan algoritme *Substract With Borrow* (SWB).

Konfigurasi AAA yaitu 40 koloni, dengan setiap koloni terdiri atas empat individu alga yang mewakili  $x_{1-4}$ , konstanta gaya gesek cairan  $\Delta=2$ , parameter pengurangan energi  $e = 0.3$ , dan parameter adaptasi  $Ap = 0.3$ . Eksekusi dilakukan sebanyak 500 kali dengan *random seed* 1-500 dan masing-masing eksekusi maksimal 40000 kali fungsi evaluasi (fev). Hasil pengujian tersebut menghasilkan laju konvergensi seperti pada Gbr. 7.



Gbr. 7 Laju konvergensi AAA dan AAA-BLM pada kasus *pressure vessel* dengan maksimal 40000 fungsi evaluasi.

Grafik laju konvergensi menyatakan perbandingan *semilog* selisih antara median hasil  $f(x)$  dan target  $f(x^*)$  terhadap fungsi evaluasi. Grafik pada Gbr. 7 menunjukkan laju konvergensi AAA-BLM lebih baik dari AAA karena pada fev= $1.6 \times 10^4$  sudah terjadi konvergensi. Detail hasil dan waktu eksekusi pada fungsi evaluasi 2000 dan 40000 tampak pada Tabel I. Tabel II menunjukkan parameter  $x_{1-4}$ , konstanta  $y_{1-2}$ , *constrain*  $g_{1-6}$ , dan hasil  $f(x)$  terbaik, sedangkan Tabel III menunjukkan perbandingan waktu perolehan solusi pada kondisi terbaik AAA dan AAA-BLM.

Berdasarkan Tabel I dan III, pada jumlah fungsi evaluasi yang sama, AAA-BLM 1.103 kali lebih cepat dari AAA. Hal ini disebabkan proses *tournament selection* pada AAA dilakukan setiap gerakan heliks, sedangkan pada AAA-BLM *tournament selection* dilakukan jika solusi tidak lebih baik setelah gerakan heliks. Selain itu, AAA-BLM lebih cepat dalam menemukan solusi, yaitu 4.921 kali lebih cepat dari kondisi terbaik AAA. Akan tetapi, pada kondisi terburuk AAA-BLM terjebak dalam *local optima* yaitu pada 7903.67564. Hal ini disebabkan AAA-BLM terlalu kuat

dalam mengeksploitasi kandidat solusi (*global best*) yang belum tentu sebagai solusi terbaik (*global optima*). Namun demikian, AAA-BLM memiliki laju konvergensi yang lebih baik dari AAA pada kasus optimasi desain *pressure vessel*.

TABEL I  
PERBANDINGAN HASIL AAA DAN AAA-BLM UNTUK KASUS *PRESSURE VESSEL* PADA FUNGSI EVALUASI 20000 DAN 40000

	Algoritme	20000	40000
<b>Solusi</b>			
Terbaik	AAA	7197.73281	<b>7197.72893</b>
	AAA <sub>BLM</sub>	<b>7197.72893</b>	<b>7197.72893</b>
Terburuk	AAA	7289.74786	7262.24008
	AAA <sub>BLM</sub>	7903.67564	7903.67564
Rata-rata	AAA	7199.26473	7198.00775
	AAA <sub>BLM</sub>	7205.05995	7204.84851
Std	AAA	6.0051502	3.3213675
	AAA <sub>BLM</sub>	57.5932321	57.5197376
<b>Waktu Eksekusi</b>			
Rata-rata	AAA	5.0486	10.1295
	AAA <sub>BLM</sub>	<b>4.5748</b>	<b>9.1831</b>
Std	AAA	0.0301211	0.0900636
	AAA <sub>BLM</sub>	0.0416411	0.0988414

TABEL II  
PERBANDINGAN PARAMETER  $x_{1-4}$ , KONSTANTA  $y_{1-2}$ , *CONSTRAIN*  $G_{1-6}$ , DAN HASIL  $F(x)$  ANTARA AAA DAN AAA-BLM PADA KASUS DESAIN *PRESSURE VESSEL* DENGAN FUNGSI EVALUASI 20000 DAN 40000

Parameter & Target	Algoritme	20000	40000
$x_1$ (Ts) = 1.125	AAA	1.12925569	1.125
	AAA <sub>BLM</sub>	1.12609603	1.12501047
$x_2$ (Th) = 0.625	AAA	0.64781226	0.63721248
	AAA <sub>BLM</sub>	0.62547076	0.625
$x_3$ (R) = 58.2901554	AAA	58.2901166	58.2901554
	AAA <sub>BLM</sub>	58.2901554	58.2901554
$x_4$ (L) = 43.6926562	AAA	43.6929034	43.6926565
	AAA <sub>BLM</sub>	43.6926562	43.6926562
$y_1 = 1.25$	AAA	1.125	1.125
	AAA <sub>BLM</sub>	1.125	1.125
$y_2 = 0.625$	AAA	0.625	0.625
	AAA <sub>BLM</sub>	0.625	0.625
$g_1 \leq 0$	AAA	-0.004256	-0.000000
	AAA <sub>BLM</sub>	-0.001096	-0.000010
$g_2 \leq 0$	AAA	-0.094056	-0.083456
	AAA <sub>BLM</sub>	-0.071714	-0.071244
$g_3 \leq 0$	AAA	-0.357398	-0.000764
	AAA <sub>BLM</sub>	-0.000000	0.000000
$g_4 \leq 0$	AAA	-196.307097	-196.307343
	AAA <sub>BLM</sub>	-196.307344	-196.307344
$g_5 \leq 0$	AAA	-0.029256	-0.025000
	AAA <sub>BLM</sub>	-0.026096	-0.025010
$g_6 \leq 0$	AAA	-0.047812	-0.037212
	AAA <sub>BLM</sub>	-0.025471	-0.025000
$f(x) = 7197.72893$	AAA	7197.73281	<b>7197.72893</b>
	AAA <sub>BLM</sub>	<b>7197.72893</b>	<b>7197.72893</b>

TABEL III  
PERBANDINGAN WAKTU PEROLEHAN SOLUSI TERBAIK BERDASARKAN  
RANDOM SEED DAN FUNGSI EVALUASI AAA DAN AAA-BLM

Algoritme	Random Seed	Fungsi Evaluasi	Waktu (s)
AAA	185	38200	9.626130
AAA <sub>BLM</sub>	247	8240	1.956132

#### VI. KESIMPULAN

AAA merupakan algoritme optimasi dengan model *swarm* yaitu gerakan heliks dan model evolusi yaitu dengan reproduksi dan adaptasi. Pada makalah ini dilakukan optimasi terhadap gerakan heliks untuk meningkatkan laju konvergensi, khususnya pada kasus optimasi desain *pressure vessel*. Optimasi yang dilakukan yaitu menggerakkan alga menuju koloni terbaik dalam populasi (*global best*) dengan cahaya terkuat yang disebut dengan AAA-BLM.

Pada kasus *pressure vessel* dengan jumlah fungsi evaluasi 20000 dan 40000, AAA-BLM 1.103 kali lebih cepat dari AAA. Sedangkan pada kasus terbaik, untuk menemukan solusi, AAA-BLM 4.921 kali lebih cepat daripada AAA. Pada kasus terburuk, AAA-BLM terjebak dalam *local optima*. Hal ini disebabkan gerakan heliks terlalu fokus pada *global best* yang belum tentu adalah *global optima*. Dengan demikian, penelitian dapat dilanjutkan dengan meningkatkan eksplorasi terhadap kandidat solusi selain *global best*, sehingga AAA-BLM memiliki laju konvergensi yang baik tanpa terjebak pada *local optima*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan pada pembimbing yang telah membantu tersusunnya tulisan ini.

#### REFERENSI

- [1] Taqiyuddin dan Sasongko P.H., "Studi Optimal Power Flow pada Sistem Kelistrikan 500 kV Jawa-Bali dengan Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)", *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 2 No. 3, 2013.
- [2] A.S. Sinaga, "Pembebanan Ekonomis dengan Pengendalian Emisi pada Pembangkit Termis Menggunakan Algoritma Evolusi Diferensial", *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol.3 No.2, 2014.
- [3] A.A. Aburomman & Mamun Bin Ibne R., "A novel SVM-kNN-PSO ensemble method for intrusion detection system", *Applied Soft Computing*, Vol.38, hal. 360-372, Jan. 2016.
- [4] M. Ranjani & P. Murugesan, "Optimal fuzzy controller parameters using PSO for speed control of Quasi-Z Source DC/DC converter fed drive", *Applied Soft Computing*, Vol.27, hal. 332-356, Feb. 2015.
- [5] Ruhul A. Sarker & Charles S. Newton, *Optimization Modelling : A Practival Approach*, Boca Raton, CRC Press, 2008.
- [6] Binitha S. & S.S. Sathya, "A Survey of Bio inspired Optimization Algorithms", *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, Vol.2, Issue-2, Mei 2012.
- [7] K.T. Meetei, "A Survey: Swarm Intelligence vs. Genetic Algorithm", *International Journal of Science and Research (IJSR)*, hal. 231-235, 2014.
- [8] Rashmi A. Mahale & S.D.Chavan, "A Survey: Evolutionary and Swarm Based Bio-Inspired Optimization Algorithms", *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol.2, isu 12, Des. 2012.
- [9] Xin-She Yang, "Swarm Intelligence Based Algorithms: A Critical Analysis", *Evolutionary Intelligenc*, Vol.7, hal. 17-28, April 2014.
- [10] Millie Pant & Radha Thangaraj, "A New Particle Swarm Optimization with Quadratic Crossover", *International Conference of Advanced Computing and Communications (ADCOM)*, hal. 81-86, 2007.
- [11] Sabine Helwig, Frank Neumann, dan Rolf Wanka, *Particle Swarm Optimization with Velocity Adaptation*, Handbook of Swarm Intelligence Vol.8 of the series Adaptation, Learning, and Optimization, hal. 155-173, 2011.
- [12] Swagatam Das & Ajith Abraham, "Synergy of Particle Swarm Optimization with Evolutionary Algorithms for Intelligent Search and Optimization", *Proceedings of IEEE International Congress on Evolutionary Computation*, Vol.1, hal. 84-88, 2006.
- [13] Kedar N.D. & Raghav P.P., "Synergy of Differential Evolution and Particle Swarm Optimization", *Proceedings of the Third International Conference on Soft Computing for Problem Solving Vol.258 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing*, hal. 143-160, 2014.
- [14] Sait Ali Uymaz, Gulay Tezel, & Esra Yel, "Artificial algae algorithm (AAA) for nonlinear global optimization", *Applied Soft Computing*, Vol.31, hal. 153-171, 2015.
- [15] G.C. Onwubolu & B.V. Babu, *New Optimization Techniques in Engineering*, Springer, Berlin, Germany, 2004.
- [16] M. Clerc, *A Method to improve Standard PSO*, Open access archive HAL, France, 2009.