



## Optimasi Konsentrat Ransum Pakan Sapi Perah Laktasi Menggunakan Whale Optimization Algorithm

Anneke Shavira Maretha

UPN Veteran Jawa Timur, Indonesia

Jl Rungkut Madya No.1 , Gunung Anyar, Surabaya, 60294, Jawa Timur, Indonesia

Korespondensi penulis: [annekeshaviraa@gmail.com](mailto:annekeshaviraa@gmail.com)

**Abstract.** This study is based on the need to develop a more effective concentrate ration for lactating dairy cows, as existing formulations in the field are greatly influenced by the availability of ingredients and varying quality. Therefore, this study focuses on optimizing concentrate in dairy cow feed rations to meet SNI standards, which include crude protein (CP), Total Digestible Nutrients (TDN), Calcium (Ca), and Phosphorus (P), with more efficient results in terms of price and nutrition. This study uses the Whale Optimization Algorithm (WOA) metaheuristic approach, which balances the exploration and exploitation processes in finding the best solution to optimization problems. This algorithm has fewer parameters than other metaheuristics such as GA, PSO, and DE. WOA runs naturally in continuous space without the need for genetic operators such as crossover and mutation. The dataset used contains types of dairy cow feed ingredients along with nutritional requirements and prices so that researchers can process the data into efficient feed concentrate that is suitable for lactating dairy cows.

**Keywords:** feed optimization, Whale Optimization Algorithm, lactating dairy cows, SNI standards, concentrate formulation

**Abstract.** Penelitian ini didasarkan pada kebutuhan penyusunan konsentrat ransum pakan sapi perah laktasi yang lebih efektif karena formulasi yang ada di lapangan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan bahan dan kualitas mutu yang berubah-ubah. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengoptimalan konsentrat pada ransum pakan sapi perah laktasi agar sesuai dengan standar SNI yang meliputi protein kasar (PK), Total Digestible Nutrients (TDN), Kalsium (Ca), dan Fosfor (P) dengan hasil yang lebih efisien pada segi harga dan nutrisi. Penelitian ini menggunakan pendekatan metaheuristik Whale Optimization Algorithm yang menyeimbangkan proses eksplorasi dan eksploitasi dalam pencarian solusi yang paling baik pada masalah optimasi. Algoritma ini memiliki parameter yang lebih sedikit daripada metaheuristik lainnya seperti GA, PSO dan DE. WOA berjalan secara alami pada ruang kontinu tanpa perlu operator genetika seperti crossover dan mutation. Dataset yang digunakan mengandung jenis-jenis bahan pakan sapi perah beserta ketentuan nutrisi dan harganya sehingga peneliti dapat mengolah data tersebut menjadi konsentrat ransum pakan yang efisien serta layak untuk sapi perah laktasi.

**Keywords:** optimasi ransum, Whale Optimization Algorithm, Sapi perah Laktasi, Standar SNI, Formulasi Konsentrat

### 1. LATAR BELAKANG

Sapi perah merupakan salah satu jenis ternak yang penting dalam industri peternakan. Hewan ini berperan penting dalam menyediakan susu dan daging sebagai sumber protein yang penting bagi manusia. Terdapat dua jenis sapi yang dibahas dalam konteks ini, yaitu sapi perah yang dikhususkan untuk menghasilkan susu dan sapi potong yang dternakkan untuk dimanfaatkan dagingnya. Keduanya memiliki peran yang penting dalam memenuhi kebutuhan protein dalam konsumsi masyarakat.

Dalam memastikan produksi yang optimal dari kedua jenis sapi ini, faktor utama yang perlu diperhatikan adalah pemberian pakan yang tepat. Pakan ternak yang disesuaikan dengan baik tidak hanya meningkatkan pertumbuhan dan produksi, tetapi juga berdampak pada kesehatan dan kesejahteraan hewan.

Pakan ternak biasanya terdiri dari campuran bahan-bahan seperti rumput, jerami, biji-bijian, limbah pertanian dan suplemen nutrisi seperti vitamin dan mineral. Komposisi pakan harus disesuaikan dengan jenis sapi dan fase pertumbuhannya, mulai dari fase pertumbuhan hingga fase produksi.

Penentuan komposisi pakan yang optimal tidaklah mudah. Proses ini melibatkan pertimbangan berbagai faktor seperti kebutuhan nutrisi, ketersediaan bahan pakan, dan biaya. Oleh karena itu, diperlukan metode yang efektif untuk mengoptimalkan komposisi pakan sapi.

Metode Whale optimization merupakan pendekatan yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah optimasi komposisi pakan. Metode Whale Optimization adalah algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh perilaku berburu paus, khususnya paus pembunuh. Algoritma ini telah terbukti efektif dalam menyelesaikan berbagai permasalahan.

Referensi dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa optimasi komposisi pakan dengan menggunakan algoritma evolusi seperti Evolution Strategies (ES) dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam memenuhi kebutuhan nutrisi ternak dengan biaya yang lebih rendah. Misalkannya, penelitian yang dilakukan Sihananto, Mahmudy dan Natsir (2018) menunjukkan bahwa penggunaan ES dapat memaksimalkan produktivitas ternak ayam dengan biaya pakan yang lebih rendah.

Penelitian lain oleh Susilo (2020), menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) untuk mengoptimalkan komposisi pakan sapi perah. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa PSO mampu menghasilkan komposisi pakan yang memenuhi kebutuhan nutrisi sapi perah dengan biaya yang lebih efisien dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu, penelitian yang oleh Utomo dan Jarjanto (2019) menggunakan metode Genetic Algorithm (GA) untuk mengoptimalkan pakan sapi potong. Mereka menemukan bahwa GA dapat digunakan untuk menentukan komposisi pakan yang optimal, mengurangi biaya pakan dan meningkatkan pertumbuhan ternak.

Berdasarkan latar tersebut, penelitian, ini bertujuan untuk mengoptimalkan komposisi pakan sapi potong dan sapi perah menggunakan Whale Optimization Algorithm dan berfokus pada pakan konsentrat. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam menentukan komposisi pakan yang optimal.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **A. Pengertian Sapi Perah**

Sapi perah adalah jenis sapi yang dikembangkan khusus untuk produksi susu. Sapi perah memiliki ciri fisik yang berbeda dengan sapi potong, terutama tubuh yang lebih ramping dan struktur tubuh yang dirancang untuk produksi susu yang tinggi. Menurut Subrata (2019), sapi perah yang sehat mampu memproduksi antara 15 hingga 25 susu liter susu perhari, tergantung pada jenis dan kualitas perawatannya. Salah satu jenis sapi perah yang paling banyak digunakan adalah Holstein friesian, yang dikenal karena produksi yang tinggi.

Sapi perah dipelihara dengan sistem yang memungkinkan mereka mendapatkan pakan berkualitas serta akses air bersih yang cukup. Menurut prasetyo (2020), pakan sapi perah harus mencakup hijauan , konsentrat , serta suplemen yang mendukung produksi susu yang optimal. Pemberian pakan yang seimbang penting agar sapi dapat mempertahankan produksi susu yang tinggi dan menjaga kondisi tubuhnya yang sehat.

Umur produktif sapi perah biasanya berlangsung selama 5 sampai 6 tahun, tergantung pada factor genetic , kesehatan dan manajemen perawatan. Sapi perah mulai memproduksi susu setelah melahirkan anak pertamanya biasanya pada usia 2 -3 tahun, setelah itu siklus laktasi berlangsung selama 10 sampai 12 bulan sebelum sapi kembali dikawinkan untuk siklus laktasi berikutnya.

Kualitas susu yang dihasilkan dipengaruhi oleh banyak factor termasuk jenis pakan, kesehatan sapi serta kondisi lingkungan. Menurut hartono (2018) sapi perah yang diberi pakan seimbang dan dipelihara dalam kondisi lingkungan yang baik akan menghasilkan susu berkualitas baik dari segi kandungan , lemak , protein maupun kebersihan.

Sapi perah juga memerlukan manajemen kesehatan yang ketat , terutama terkait dengan pencegahan penyakit seperti mastitis, yang bisa mempengaruhi produksi susu.

Dengan perawatan yang tepat, sapi perah mampu mempertahankan produktivitasnya selama beberapa tahun sebelum akhirnya diistirahatkan atau dijual sebagai sapi potong.

## **B. Komposisi Pakan Sapi Perah**

Komposisi pakan sapi perah bervariasi tergantung pada tahap laktasi, produksi susu dan kondisi lingkungan. Pakan sapi perah harus memenuhi kebutuhan energi, protein, vitamin dan mineral yang cukup untuk menjaga produktivitas susu yang optimal. Berikut adalah komponen utama dalam pakan sapi perah :

- a) Sumber energy (karbohidrat) : sapi perah membutuhkan energy tinggi untuk mendukung produksi susu. Sumber energy umumnya berasal dari hijauan seperti rumput gajah, silase jagung serta konsentrat jagung, dedak padi dan ampas singkong. Energy ini sangat penting untuk metabolisme dan mempertahankan produksi susu yang tinggi.
- b) Sumber protein : protein sangat penting untuk produksi susu. Sumber protein dalam pakan sapi perah bisa berasal dari bungkil kedelai, tepung ikan, leguminosa seperti daun lamtoro atau kacang-kacangan, serta sumber lain yang kaya protein. Protein mendukung pembentukan komponen utama susu seperti kasein dan laktosa.
- c) Vitamin dan mineral : vitamin dan mineral sangat penting untuk kesehatan sapi perah dan kualitas susu yang dihasilkan. Vitamin A, D, E serta vitamin B kompleks sangat penting dalam mendukung metabolisme dan produksi susu, mineral seperti kalsium, fosfor, magnesium dan selenium penting untuk pembentukan tulang, produksi susu serta keseimbangan elektrolit.
- d) Bahan tambahan : bahan tambahan seperti lemak, asam amino dan serat juga dapat ditambahkan untuk meningkatkan kandungan energi dan kualitas pakan. Probiotik dan enzim pencernaan juga sering ditambahkan untuk meningkatkan efisiensi pencernaan yang membantu sapi menonversi pakan menjadi energi dan produksi susu yang optimal.

Secara umum, komposisi pakan sapi perah dengan kebutuhan gizi sebagai berikut :

- a) Protein : 16 – 18 %
- b) Energy L 2700 – 3000 kkal/kg
- c) Lemak : 3-6 %
- d) Serat : 18 – 22 %
- e) Kalsium : 0.6 – 0.8 %

- f) Fosfor : 0.4 – 0.6%
- g) Natrium : 0.1 – 0.2 %

Pakan yang seimbang dan berkualitas penting untuk menjaga produksi susu yang tinggi serta kualitas susu yang baik. Menurut Hartono (2018) , sapi perah yang diberi pakan dengan komposisi yang tepat akan menghasilkan produksi susu yang optimal dan lebih tahan terhadap penyakit

### C. Whale Optimization

Whale Optimization Algorithm (WOA) pertama kali diperkenalkan oleh Seyedali Mirjalili pada tahun 2016 sebagai algoritma optimasi berbasis perilaku paus bungkuk dalam menangkap mangsa. Algoritma ini didasarkan pada teknik berburu paus bungkuk (*Megapetra novaeangliae*) terhadap mangsanya. Paus memiliki sel pada otak yang menyerupai otak manusia yang disebut spindle cell. Sel tersebut membuat paus dapat memiliki kemampuan untuk memutuskan, memiliki emosi dan berperilaku layaknya manusia.

Salah satu jenis paus yang paling besar adalah paus bungkuk karena jenis paus ini memiliki ukuran seperti bus sekolah. Mangsa yang paling disukainya adalah hiu dan sekumpulan ikan kecil. Hal paling menarik dari jenis paus ini adalah metode berburu mangsanya yang sangat unik dan istimewa yaitu menggunakan metode yang dinamakan bubble net feeding. Metode bubble net feeding merupakan metode yang dilakukan dengan membentuk gelembung secara spiral dengan diameter kelilingnya gelembung akan semakin kecil untuk mempersempit ruang gerak mangsanya.

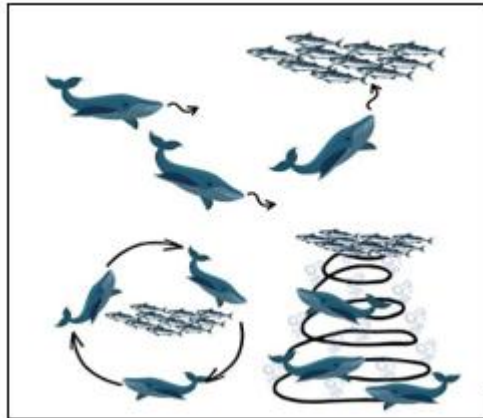
Algoritma ini menjadi sangat populer karena kesederhanaan, kemampuan eksplorasi yang baik, dan daya adaptasinya dalam berbagai jenis masalah optimasi yang kompleks.



**Gambar 1.** Seyedali Mirjalili dan Algoritma Paus yang diperkenalkannya

#### D. Struktur Dasar Whale Optimization Algorithm

WOA merupakan algoritma optimasi yang bekerja berdasarkan interaksi beberapa paus secara kolektif mencari solusi optimal dalam suatu ruang pencarian. Paus dalam algoritma ini adalah entitas yang merepresentasikan solusi yang mungkin., sedangkan ruang pencarian mewakili semua solusi yang mungkin dari masalah yang sedang dipecahkan.



**Gambar 2.** Ilustrasi Tahapan dalam WOA

##### 1) Mencari mangsa (searching for prey)

Paus berperan sebagai search agent mendekati mangsa yang memiliki peran sebagai current best solution. Ketika posisi paling optimal belum didapatkan, maka current best solution dianggap sebagai posisi paling teroptimal. Setelah menentukan best search agent, maka search agent yang lain akan memperbarui dirinya sendiri menjadi best search agent. Berikut merupakan bentuk matematis dari paus ketika mengelilingi mangsanya (persamaan 2.1 dan 2.2).

$$\vec{D}(t) = |\vec{C} \circ \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)|,$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A}(t) \circ \vec{D}(t)$$

Pada persamaan 2.1 dan 2.2, nilai  $t$  merupakan iterasi saat ini,  $\vec{X}$  merupakan vector posisi best solution (paus), sementara  $\vec{X}^*$  merupakan vector posisi best solution dari mangsa yang diperbarui setiap iterasi.  $\vec{D}$  merupakan representasi vector dari jarak yang ada antar komponen paus dalam tujuan mencapai posisi mangsa.  $\vec{C}$  merupakan vector yang melambangkan koefisien terhadap persamaan sebelumnya.

Parameter  $A \rightarrow$  dan  $C \rightarrow$  yang tertera pada persamaan sebelumnya memiliki definisi sebagai berikut :

$$A \rightarrow(t) = 2a(t) \circ r \rightarrow - a(t), \quad (2.3)$$

$$C \rightarrow(t) = 2 \cdot r \rightarrow, \quad (2.4)$$

$$\text{Nilai } a(t) = \begin{bmatrix} a_1(t) \\ a_2(t) \\ \vdots \\ a_n(t) \end{bmatrix}, a_1(t) = a_2(t) = \dots = a_n(t) = a(t), \quad (2.5)$$

Pada persamaan 2.3 dan 2.4, nilai  $a(t) = 2 - (t - 1)h$ ,  $h = 2/\text{maksimum iterasi}$  dan  $r \rightarrow$  merupakan vector nilai secara random atau acak dengan rentang nilainya 0 hingga 1.

Dalam teknik pergerakan bubble-net feeding yang digunakan paus untuk menangkap mangsanya, paus yang merupakan representasi dari search agent selalu memperbarui posisi terbaik mereka dengan menggunakan proses eksploitasi yang terdiri dari dua metode yaitu shrinking encircling mechanism dan spiral updating mechanism serta terdapat proses eksplorasi yang juga dinamakan search for prey.

## 2) *Swimming Spirally to feed*

Pada awal proses, sejumlah paus (solusi) diinisialisasikan secara acak di ruang pencarian. Setiap paus memiliki posisi yang menggambarkan nilai solusi yang mungkin. Parameter lain seperti nilai koefisien, jarak antar paus dan parameter spiral juga diinisialisasi dalam tahap ini.

Secara umum, posisi paus  $X \rightarrow$  dalam ruang pencarian diatur secara acak di dalam ruang pencarian. Setiap paus memiliki posisi yang menggambarkan nilai solusi yang mungkin. Parameter lain seperti nilai koefisien, jarak antar paus, dan parameter lain nilai koefisien, jarak antar paus, dan parameter spiral juga diinisialisasi dalam tahap ini. Secara umum, posisi paus  $X \rightarrow$  dalam ruang pencarian diatur secara acak, dan solusi terbaik diidentifikasi dari hasil evaluasi fungsi objektif. Fungsi objektif ini digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik suatu solusi dalam memenuhi kriteria atau tujuan yang ingin dicapai oleh masalah optimasi.

### 3) Tahap mengelilingi mangsa (*encircling prey*)

Setelah inisialisasi, paus diasumsikan telah menemukan mangsanya (solusi terbaik sejauh ini), dan mulai mengelilingi mangsa tersebut. Proses ini dimodelkan dengan memperbaharui posisi paus di sekitar siklus terbaik dengan volume ditunjukkan pada persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$D(t) = |C \cdot X^*(t) - X(t)|, X(t+1) = X^* - A(t) \cdot D(t) \quad (2.6)$$

Pada tahap ini, paus secara bertahap bergerak mendekati solusi optimal (mangsa) dengan menggunakan nilai A dan C. Jika  $|A| < 1$ , paus mendekati mangsa dan jika  $|A| > 1$  paus menjauh dari mangsa, sehingga mereka mampu mengeksplorasi ruang pencarian yang lebih luas.

### 4) Bubble net hunting

Fase bubble net hunting dibagi menjadi dua mekanisme utama yaitu shrink encircling mechanism dan spiral updating mechanism. Kedua mekanisme ini dipilih secara acak untuk memutakhirkan posisi paus.

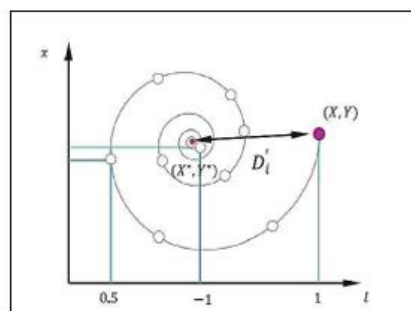
#### a) Shrink Encircling Mechanism

Pada persamaan sebelumnya nilai  $a \in a \rightarrow$  yang berkurang membuat rentang nilai dari  $A \rightarrow$  berubah mengikuti nilai  $a$ .  $A \rightarrow$  memiliki nilai acak dengan rentang  $[-a, a]$  dan nilai  $a$  terus berkurang dari 2 sampai 0 bersamaan dengan jalannya proses iterasi. Contoh semisal jika nilai acak terhadap  $A \rightarrow$  antara  $[-1, 1]$ , maka posisi terbaru dari search agent dapat ditentukan antara posisi awal serta posisi dari solusi terbaru (current best agent).

#### b) Spiral Updating Mechanism

Dalam mekanisme ini paus bergerak dalam p spiral di skitar mangsa. Gerakan ini mengikuti pola yang lebih dinamis dengan menggunakan rumus berikut :

$$X(t+1) = D' \cdot e^{bl} \cdot \cos(2\pi l) + X^*(t) \quad (2.9)$$



**Gambar 3.** Visualisasi grafik pola spiral dalam WOA

Dimana  $D'$  adalah jarak antara paus dan mangsa dihitung sebagai  $D' = |X^*(t) - X(t)|$ ,  $b$  adalah konstanta yang menentukan bentuk spiral, dan  $l$  adalah bilangan acak dalam rentang  $[-1,1]$  Mekanisme spiral ini membantu paus dalam memodifikasi lintasan mereka menuju solusi dengan lebih banyak variasi gerakan.

#### E. Tahap Pencarian Mangsa (Search for Prey)

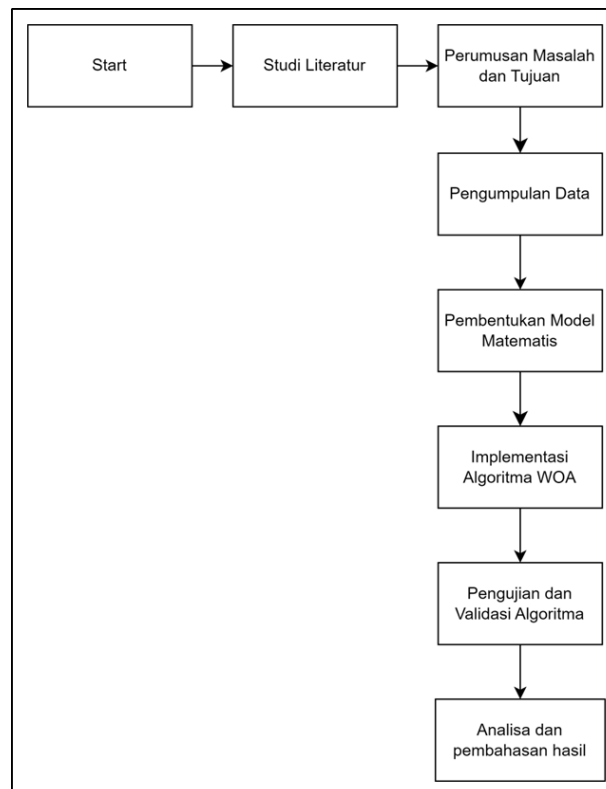
Jika paus belum menemukan solusi yang cukup baik, mereka dan memulai fase pencarian mangsa baru. Dalam tahap ini, paus bergerak secara acak dengan nilai  $A > 1$  yang memungkinkan mereka menjelajahi ruang pencarian yang lebih luas untuk menemukan solusi baru yang potensial. Posisi paus diperbarui dengan dengan formula.

$$D = |C \cdot Xrand - X(t)|, X(t + 1) = Xrand - A(t) \cdot D \quad (2.10)$$

Di mana pada persamaan 2.10 di atas  $Xrand$  merupakan posisi acak paus (solusi) di dalam populasi. Fas ini memastikan paus tidak terjebak di solusi local dan bisa menjelajahi ruang pencarian yang lebih luas.

### 3. METODE PENELITIAN

#### A. Metode Penelitian



**Gambar 4.** Diagram alir dalam penelitian optimasi dengan WOA

Berdasarkan diagram alir di atas, berikut dijelaskan beberapa tahapan di dalam penelitian ini :

1) Studi Literatur

Membahas literatur dan landasan teori yang berkaitan dengan Whale Optimization Algorithm (WOA) dan juga pengaruh komposisi pakan terhadap tumbuh kembang sapi potong dan sapi perah.

2) Perumusan Masalah dan Tujuan

Pada tahapan ini, dilakukan identifikasi permasalahan yang dihadapi dalam optimasi pakan sapi potong dan perah. Tidak lupa untuk menentukan tujuan penelitian dan kendala kendalanya yang relevan seperti batasan nutrisi dan sebagainya.

3) Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data pakan sapi yang berasal dari Dinas Peternakan Kota Batu, Malang. Penulis akan mendatangi dan melakukan wawancara guna mengetahui standard utama kebutuhan pakan yang merupakan hal paling penting dalam penelitian ini.

4) Pembentukan Model Matematis

Tahapan yang menyusun model matematis dengan menggambarkan fungsi objektifnya (misalnya, meminimalkan biaya total pakan) dan kendala (misalnya, batasan minimum dan maksimum nutrisi seperti protein atau energi)

5) Implementasi WOA (Whale optimization Algorithm)

Tahapan ini akan mengimplementasikan skenario WOA berbasis populasi ke dalam kasus optimasi komposisi pakan sapi perah dan potong.

6) Pengujian dan Validasi Algoritma

Setelah melewati tahapan pengimplementasian WOA, akan dilakukan pengujian untuk menentukan parameter optimal dari algoritma , seperti jumlah paus di dalam populasi, jumlah iterasi maksimum dan rentang ruang pencarian. Beberapa susunan parameter ini diuji untuk menemukan kombinasi yang memberikan solusi terbaik dalam waktu komputasi yang efisien.

7) Analisa dan Pembahasan Hasil

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap hasil optimasi komposisi pakan sapi yang diperoleh dari implementasi WOA. Analisa dilakukan untuk mengevaluasi kinerja algoritma dalam meminimalkan biaya pakan sambil memenuhi kebutuhan nutrisi sapi potong dan sapi perah.

### a) Fungsi Objektif

Fungsi Objektif pada permasalahan di penelitian ini merupakan minimasi biaya pakan sembari memastikan bahwa semua seluruh kebutuhan nutrisi sapi perah dan sapi potong terpenuhi. Fungsi ini bertujuan untuk meminimalkan biaya pakan yang diperlukan dengan memastikan komposisi pakan tetap memenuhi semua kendala nutrisi. Secara matematis, fungsi objektif dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$n \sum_{i=1} f(x) = \sum_{i=1} biyai . xi \quad (3.1)$$

Pada persamaan 3.1,  $xi$  merupakan bahan pakan ke- $i$ ,  $biyai$  merupakan biaya per-unit dari bahan pakan ke- $i$ ,  $n$  merupakan jumlah bahan pakan yang digunakan.

### b) Kendala

Selain meminimalkan biaya, diperlukan juga pemenuhan kendala nutrisi yang diwajibkan. Kendala ini termasuk jumlah minimal dan maksimal protein, lemak, serat dan energy yang harus dipenuhi berdasarkan standar nutrisi untuk sapi perah dan sapi potong. Kendala secara matematis dapat digambarkan sebagai berikut :

$$n \sum_{i=1} nutrisii . xi \geq nutrisi minimum \quad (3.2)$$

$$n \sum_{i=1} nutrisii . xi \leq nutrisi maksimum \quad (3.3)$$

## B. Perancangan

### 1) Dataset

Beriku penulis melampirkan 10 dari 29 dataset yang digunakan :

| No | Nama Bahan Pakar   | BK (%) | PK (%) | TDN (%) | Ca (%) | P (%) | Harga (Rp/k) |
|----|--------------------|--------|--------|---------|--------|-------|--------------|
| 1  | Dedak Halus        | 89     | 12,5   | 65      | 0,11   | 1,1   | 3800         |
| 2  | Bungkil Kedelai    | 90     | 44     | 84      | 0,3    | 0,7   | 12000        |
| 3  | Jagung Giling      | 89     | 9      | 85      | 0,02   | 0,3   | 5500         |
| 4  | Konsentrat DC133P+ | 90     | 17     | 70      | 0,6    | 0,45  | 4000         |
| 5  | Ampas Tahu         | 20     | 20     | 60      | 0,3    | 0,2   | 1000         |
| 6  | Bungkil Kelapa     | 90     | 20     | 75      | 0,25   | 0,15  | 5200         |
| 7  | Tetes Tebu         | 75     | 5      | 72      | 0,1    | 0,05  | 7000         |
| 8  | Jagung, tumpi      | 90,72  | 7,04   | 57,37   | 0,02   | 0,28  | 1.500        |
| 9  | Jagung, empok      | 88,76  | 8,40   | 78,96   | 0,02   | 0,30  | 5.000        |
| 10 | Jagung, Ampas/ddgs | 90,54  | 27,83  | 76,86   | 0,05   | 0,85  | 9.200        |

Gambar 5. 10 dari 29 dataset

## 2) Parameter Algoritma

Dalam tahap awal pengujian, akan ditentukan beberapa parameter utama dari Whale Optimization Algorithm (WOA), yaitu :

## 3) Jumlah populasi paus (n)

Menentukan berapa banyak solusi awal yang diinisialisasikan dalam algoritma. Nilai N bisa dipilih dalam rentang 20 – 50 individu, dalam awal implementasi bisa digunakan n 30 berdasarkan uji coba penelitian terdahulu yang menunjukkan kompromi antara keragaman solusi dan waktu komputasi (Mirjalili & Lewis, 2016: 51-67; Atici &Elen, 2024: 65 -76)

## 4) Batas Iterasi Maksimum

Menentukan jumlah iterasi atau siklus yang akan dijalankan pada proses optimasi. Bisa menggunakan 100 – 500 iterasi.

## 5) Parameter Pengendali eksplorasi – eksploitasi

Parameter a akan menurun secara linear dari 2 ke 0 sepanjang iterasi berjalan , b, sehingga vektor koefisien A berada dalam rentang [-a,a]. Nilai  $|A| > 1$  mendorong fase eksplorasi (mencari solusi baru) jauh dari solusi terbaik (Mirjalili & Lewis, 2016:51-57)

## 6) Parameter probabilitas (p)

Parameter p merupakan bilangan acak yang berada di rentang [0,1] yang digunakan untuk memilih antara fase shrinking encircling dan spiral updating pada fase eksploitasi. Nilai ambang  $p = 0,5$  diadopsi mengikuti formula asli WOA (Mirjalili & Lewis, 2016 :51-67)

## 7) Konstanta Spiral (b)

Parameter ini akan digunakan dalam persamaan spiral pada pengujian eksploitasi di sekitar solusi terbaik. Konstanta b mengendalikan bentuk lintasan spiral pada bubble – net; nilai umumnya  $b = 1$  , sebagaimana disarankan dalam penelitian pengembangan WOA (Mirjalili & Lewis, 2016:51 – 67)

## 8) Inisialisasi Populasi

Untuk setiap paus Xi :

$$X_{ij} = [X_{i1} , X_{i2} , \dots , X_{im}] \quad (3.4)$$

Dalam persamaan di atas,  $X_{ij}$  merupakan presentase bahan pakan ke j untuk paus (solusi) ke i dan m adalah jumlah total jenis pakan dalam satu solusi ke- i

### 9) Evaluasi Fitness Awal

Setelah membentuk populasi awal, masing masing paus ang ada akan dievaluasi dengan mengkalkulasi fungsi objektif atau fitness yang akan digunakan untuk menilai seberapa baik solusi tersebut dalam memenuhi kebutuhan nutrisi dan meminimalkan biaya.

$$Fitness(X) = \alpha \cdot Total\ kecukupan\ Nutrisi(X) + \beta \cdot Biaya\ Total(X) \quad (3.5)$$

Total kecukupan nutrisi menghitung sejauh mana komposisi bahan pakan X. Biaya Total merupakan keseluruhan biaya dari bahan pakan yang dibutuhkan dalam komposisi X. Sementara  $\alpha$  dan  $\beta$  merupakan koefisien dari bobot yang berfungsi untuk mengatur prioritas antara kecukupan nutrisi beserta minimasi biaya.

### 10) Proses Iterasi dan pembaruan Posisi Paus

Dalam setiap iterasi yang dijalankan posisi paus akan selalu diperbaharui entah menggunakan proses eksplorasi ataupun eksploitasi. Proses ini terbagi menjadi dua kondisi, sesuai dengan nilai pada parameter  $\alpha$  serta probabilitas (P).

#### a) Fase Eksploitasi (jika $A < 1$ )

##### 1. Pendekatan lurus ( $P < 0.5$ )

Menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D = |C \cdot X_{best} - X| \quad (3.6)$$

$$X_{new} = X_{best} \cdot A \cdot D \quad (3.7)$$

Dengan C merupakan nilai random di antara 0 dan 2 yang bermanfaat sebagai pengontrol jaraknya. Nilai A dapat dicari dengan

$$A = 2a \cdot r - a, \text{ dan } r \text{ merupakan nilai acak antara 0 dan 1.}$$

##### 2. Pendekatan spiral ( $P \geq 0.5$ )

Dengan fase ini, posisi paus akan diperbaharui dengan bentuk spiral. Fase ini dimulai dengan menghitung jarak diantara paus (X,Y) dan juga mangsanya (X', Y'). Berikut merupakan persamaan (3.7) fase spiral paus bungkuk yang digunakan untuk menentukan posisi antara paus dan mangsanya :

$$X \rightarrow (t+1) = \bar{D} \rightarrow'' \cdot ebl \cdot \cos(2\pi l) + \bar{X} \rightarrow'$$

(3.8)

Nilai  $\bar{D} \rightarrow'' = |X \rightarrow'(t) - X \rightarrow(t)|$  merepresentasikan jarak antara paus (solusi) dan mangsanya (solusi terbaik yang ada). Angka 1 merupakan angka acak dari  $[-1, 1]$  dan  $b$  merupakan konstanta yang menggambarkan bentuk dari fase spiral ini. Mari lihat persamaan berikut di bawah ini.

$$X \rightarrow (t+1) = \begin{cases} \bar{X} \rightarrow'(t) - A \rightarrow \cdot \bar{D} \rightarrow & \text{if } p < 0.5 \\ \bar{D} \rightarrow'' \cdot ebl \cdot \cos(2\pi l) + \bar{X} \rightarrow' & \text{if } p \geq 0.5 \end{cases}$$

(3.9)

b) Fase Eksplorasi (jika  $A \geq 1$ )

Di dalam fase ini, paus akan mencari solusi baru dengan acak pada area luar solusi terbaik. Update posisi akan dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$D = |C \cdot Xrand - X| \quad (3.10)$$

$$X \rightarrow (t+1) = Xrand - A \cdot D \quad (3.11)$$

Nilai dari  $Xrand$  merupakan posisis paus secara acak yang dipilih dalam populasi. Pada proses ini, bisa memberi kesempatan paus untuk mengeksplorasi kawasan solusi yang baru untuk menghindari dari jebakan solusi lokal.

## 11) Pembaruan Solusi Terbaik

Setelah posisi paus sudah diperbarui, akan dihitung kembali nilai fitnessnya. Jika terdapat paus yang memiliki nilai fitness lebih baik dari solusi terbaik yang telah ada saat ini, maka posisi paus tersebut akan tergantikan dengan paus (solusi) yang lebih baik.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Pola Konvergensi Algoritma WOA

Pengujian dilakukan dengan jumlah paus sebanyak 40 individu dan 200 iterasi. Nilai fitness awal terbaik sebesar 125.876 dengan biaya ransum Rp 77.214/ekor/hari dan tingkat pelanggaran 0,4866. Pada iterasi pertama, nilai fitness terbaik turun jadi 79.588,40 dengan biaya Rp 75.994/ekor/hari dan pelanggaran 0,0359.

WOA mulai menemukan solusi feasible yang pelanggarannya = 0 pada iterasi ke – 20 dengan nilai fitness 66.957,20 dan biaya ransum Rp 66.947/ekor/hari. Setelah titik ini, perbaikan terjadi di dalam wilayah solusi yang sudah memenuhi batas nutrisi, sehingga penurunan fitness lebih didominasi oleh pengurangan biaya ransum paka mencapai Rp 55.607/ekor/hari dengan pelanggaran 0 dan status feasible.

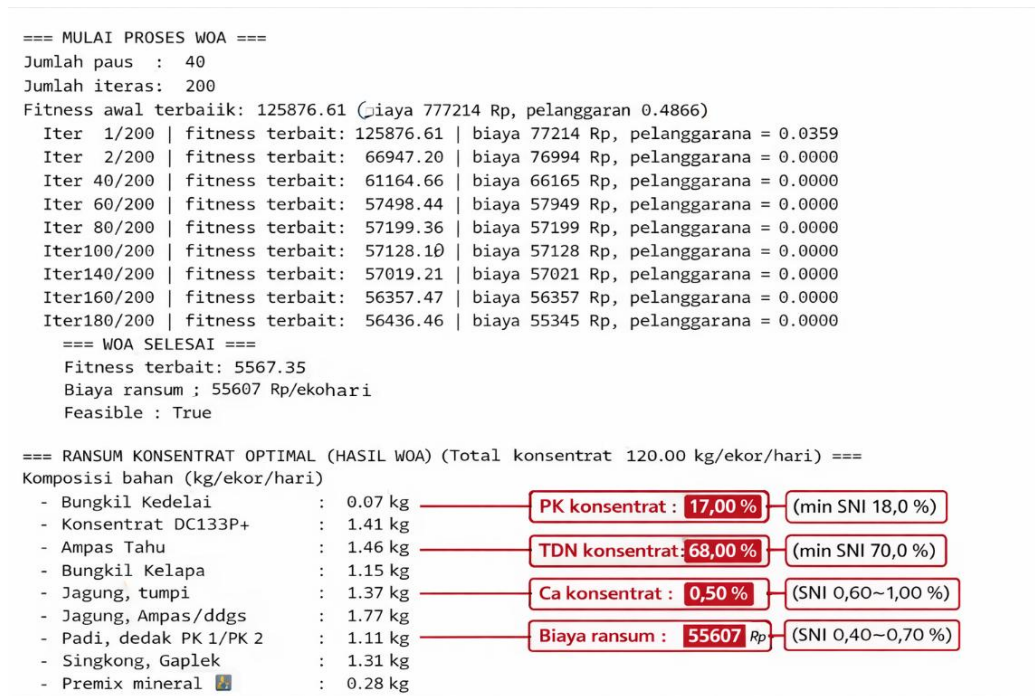
Dengan demikian, dibandingkan dengan biaya awal yang masih melanggar nutrisi, WOA mampu menurunkan biaya ransum sekitar kurang lebih 28 % dibandingkan solusi feasible pertama (iterasi ke – 20) penurunan biaya masih sekitar kurang lebih 17%. Pola ini konsisten dengan karakteristik WOA yang pada umumnya menunjukkan penurunan fitness sangat cepat pada fase iterasi awal (eksplorasi), kemudian diikuti perbaikan kecil namun stabil pada iterasi berikutnya (eksploitasi). Hal tersebut sejalan dengan hasil Mirjalili & Lewis (2016) yang menunjukkan bahwa WOA cenderung cepat mencapai daerah solusi baik dan kemudian melakukan penyempurnaan di sekitar solusi terbaik secara bertahap.

##### B. Profil Nutrisi Hasil Optimasi

Ringkasan nutrisi konsentrat optimal yang dihasilkan WOA adalah sebagai berikut : (berdasarkan output program :

- 1) Protein kasar (PK) : 17,00%
- 2) TDN : 68 %
- 3) Kalsium : 0,50%
- 4) Fosfor : 0,62 %

Jika dibandingkan dari sisi ilmu ternak, beberapa kajian menyebutkan bahwa kebutuhan protein ransum total sapi perah laktasi umumnya berada pada kisaran 16 – 18% dari bahan kering, sehingga nilai 17% masih berada dalam rentang kebutuhan fisiologis yang wajar



**Gambar 6.** Ringkasan nutrisi konsentrat optimal

### C. Komposisi ransum konsentrat optimal

Solusi terbaik pada iterasi ke – 200 menghasilkan ransum konsentrat total 12,00 / kg.ekor/hari. Komposisi bahan utama meliputi berbagai jenis bahan pakan seperti jagung, ampas tahu, bungkil kelapa dan sebagainya. Output program menyatakan status feasible yang memenuhi SNI dalam batas mendekati, dengan kompromi biaya, bukan menyalin angka SNI secara kaku.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan komposisi ransum konsentrat sapi perah menggunakan Whale Optimization Algorithm (WOA) dengan sasaran utama meminimalkan biaya pakan sekaligus memenuhi persyaratan mutu nutrisi berdasarkan SNI. Berdasarkan hasil running program , WOA mampu menemukan kombinasi ransum konsentrat total 12 kg /ekor/hari dengan kandungan PK 17%, TDN 68%, Ca 0,50% dan P 0,62% yang secara umum mendekati kisaran standard SNI dan dinyatakan feasible oleh sistem dengan total pelanggaran 0. Nilai biaya ransum terbaik yang diperoleh sebesar 55.607 rupiah/ekor/hari, lebih rendah dibandingkan biaya awal yang masih melanggar kendala nutrisi, sehingga menunjukkan bahwa penerapan WOA efektif menurunkan biaya pakan tanpa menurunkan kecukupan nutrisi secara signifikan. Pola konvergensi fitness yang terus

membaik dari iterasi awal hingga iterasi ke – 200 mengindikasikan bahwa kombinasi parameter WOA yang digunakan sudah memadai untuk menyelesaikan permasalahan optimasi ransum dalam penelitian ini.

Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan Bahwa Whale Optimization Algorithm berpotensi digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam penyusunan ransum konsentrat sapi perah, khususnya pada kondisi banyaknya alternatif bahan pakan dan fluktuasi harga yang menyulitkan formulasi manual. Meskipun demikian, masih ada ruang perbaikan dalam pengetahuan PK, TDN, Ca agar hasil optimasi benar benar ada dalam kisaran SNI tanpa bergantung pada toleransi. Penelitian lanjutan juga dapat mengkaji perbandingan kinerja WOA dengan algoritma metaheuristik lain serta memasukkan variasi harga dan ketersediaan bahan pakan secara dinamis sehingga modul yang dihasilkan bisa lebih aplikatif di lapangan.

## DAFTAR REFERENSI

- Atıcı, E., & Elen, A. (2024). Optimization of feed ration cost in dairy cattle by genetic algorithm. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 65–76.
- Bai, H. M., & Khotimah, K. (2023). Deskripsi tampilan produksi, konsumsi, dan kualitas susu sapi perah Fries Holland pada peternak rakyat. *Jurnal Animal Research and Applied Science*, 4(1), 1–10.
- Batistel, F., Arriola Apelo, S. I., & Allen, M. S. (2021). Feeding grazing dairy cows with different energy sources: Nutrient partitioning and nitrogen utilization. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 642265.
- Chase, L. E. (2023). Environmental and economic responses to precision feeding of lactating dairy cows. *Agriculture*, 13(5), 1032.
- Das, R., Das, K. N., & Mallik, S. (2023). An efficient evolutionary optimizer for solving complex dairy feed optimization problems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 204, 107566.
- Erickson, P. S., & Kalscheur, K. F. (2020). Nutrition and feeding of dairy cattle. Dalam F. W. Bazer, G. C. Lamb, & G. Wu (Eds.), *Animal agriculture: Sustainability, challenges and innovations* (pp. 157–180). Academic Press.
- Hidayat, N., Purnomoadi, A., & Nuswantara, L. K. (2020). Fermentabilitas ransum sapi perah berbasis jerami padi dan konsentrat terfermentasi terhadap produk fermentasi rumen secara in vitro. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Pakan Ternak*, 18(1), 1–10.
- Hudori, H. A., Rujito, H., Muksin, M., Pratama, F. E. A., & Andini, P. (2020). Formulasi ransum alternatif untuk meningkatkan efisiensi usaha peternakan sapi perah (Studi kasus pada peternakan Bestcow Farm Jember). *Jurnal Ilmu Peternakan Terapan*, 3(2), 67–73.
- Mijić, D., Vukelić, N., Plavšić, M., & Vukelić, D. (2024). OPTIMILK: A web-based tool for least-cost dairy ration optimization using linear programming. *Agriculture*, 14(9), 1580.

- Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51–67. (paper asli WOA).
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). *Nutrient requirements of dairy cattle* (8th rev. ed.). National Academies Press.
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th rev. ed.). National Academy Press. (bisa dipakai bila di naskah Anda menjelaskan bahwa dataset komposisi pakan mengacu ke NRC 2001, seperti yang juga dilakukan Atıcı & Elen).
- Rana, N., Latiff, M. S. A., Abdulhamid, S. M., & Chiroma, H. (2020). Whale optimization algorithm: A systematic review of contemporary applications, modifications and developments. *Neural Computing and Applications*, 32(20), 16245–16277.
- Ravelo, A. D., Mustafa, A. F., & Gagnon, N. (2022). Effects of sucrose and lactose as partial replacement for starch in dairy cow diets: A review. *Animals*, 12(9), 1128.
- Usigbe, M. J., Darlan, D., Uyeh, D. D., & Mallipeddi, R. (2023). Animal feed optimization under price fluctuations using evolutionary algorithms. Dalam *Proceedings of the 14th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC 2023)* (pp. 190–192). IEEE.
- Uyeh, D. D., Mallipeddi, R., Pamulapati, T., Park, T., Kim, J., Woo, S., & Ha, Y. (2018). Interactive livestock feed ration optimization using evolutionary algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 1–11.