

OPTIMASI KOMPOSISI PAKAN SAPI PERAH MENGGUNAKAN *IMPROVED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (IPSO)

Fitri B. Suryani¹, Agus W. Widodo², Wayan F. Mahmudy³
Email: fitri.b.suryani@gmail.com

Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya Malang

Abstrak

Sistem pemberian pakan mempunyai peranan penting dalam usaha sapi perah. Biaya pakan memegang prosentase terbesar yang mencapai 62,5% dari total biaya usaha. Pemberian pakan yang tidak tepat bisa mengakibatkan peternak mengeluarkan biaya yang besar hanya untuk pakan tetapi produksi susu yang dihasilkan tidak optimal. Oleh karena itu digunakan algoritma IPSO untuk optimasi komposisi pakan sapi perah. Algoritma IPSO dipilih karena terbukti lebih unggul dari pada algoritma PSO konvensional dan memerlukan tingkat komputasi yang lebih kecil dibandingkan algoritma genetika. Selain mudah untuk diimplementasikan, algoritma IPSO juga dapat menghasilkan solusi optimum lebih efisien dari pada algoritma genetika dan algoritma semut.

Enam proses utama dalam algoritma IPSO yaitu (1) membangun populasi awal; (2) menghitung nilai *fitness* pada tiap partikel; (3) menentukan posisi lokal terbaik (*pbest*); (4) menentukan posisi global terbaik (*gbest*); (5) memperbarui kecepatan partikel; dan terakhir (6) memperbarui posisi partikel. Dari hasil pengujian didapatkan jumlah iterasi optimum IPSO sebesar 80, ukuran populasi optimum sebanyak 140, dan interval bobot bahan optimum yaitu 1 sampai 15. Selain itu algoritma IPSO terbukti dapat merekomendasikan komposisi pakan lebih murah Rp 16654 dibandingkan cara konvensional. Dibandingkan dengan algoritma PSO, algoritma IPSO terbukti dapat menghasilkan solusi optimal dengan harga pakan yang lebih murah sebesar Rp 8317. Algoritma IPSO juga terbukti memerlukan jumlah iterasi dan ukuran populasi yang lebih kecil dibandingkan dengan algoritma PSO.

Kata kunci: *Optimasi, pakan sapi perah, algoritma improved particle swarm optimization*

1. PENDAHULUAN

Sistem pemberian pakan mempunyai peranan penting dalam usaha sapi perah. Ketersediaan pakan yang memadai dapat mengoptimalkan produksi susu sehingga menunjang keberhasilan usaha sapi perah (Bamualin, et al., 2009) (Jayanegara, 2014). Supaya produksi susu yang diperoleh optimal maka pakan yang disediakan harus mencukupi kebutuhan nutrisi sapi. Kebutuhan nutrisi sapi perah meliputi kebutuhan nutrisi untuk hidup pokok sapi dan kebutuhan nutrisi untuk produksi susu. Untuk mencukupi kebutuhan tersebut, peternak sapi dianjurkan untuk memberikan bahan pakan hijauan dan juga konsentrat. Pemberian bahan pakan hijauan dan konsentrat yang tepat tidak hanya dapat memenuhi kebutuhan hidup pokok sapi, melainkan juga dapat memaksimalkan potensi genetik sapi dalam memproduksi susu.

Namun di sisi lain harga pakan merupakan masalah sendiri bagi peternak sapi. Dalam usaha sapi perah, biaya pakan memegang prosentase terbesar yang mencapai 62,5% dari total biaya usaha (Umiyasih & Anggraeny, 2008) (Yusdja, 2005). Pemberian pakan yang tidak tepat bisa mengakibatkan peternak mengeluarkan biaya yang besar hanya untuk pakan tetapi produksi susu yang dihasilkan tidak optimal. Untuk itu diperlukan sebuah metode yang dapat menyusun bahan pakan sesuai kebutuhan nutrisi sapi dengan harga pakan yang seminimal mungkin. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah

kombinatorik semacam ini, diantaranya algoritma genetika, *evolution strategies* (ES), dan algoritma *improved particle swarm optimization* (IPSO).

Seperti penelitian Fakhriroh, et al. (2015) yang membuat sistem penyusunan pakan sapi perah menggunakan algoritma genetika. Selain memperhatikan kondisi sapi, penyusunan pakan sapi juga didasarkan pada harga pakan. Jadi hasil akhir yang diharapkan adalah komposisi pakan sapi yang optimal dengan biaya yang serendah mungkin. Algoritma genetika dipilih karena dinilai dapat menyelesaikan masalah optimasi dengan tetap memperhatikan batasan yang ada. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa algoritma genetika mampu menghasilkan keluaran komposisi pakan sapi yang optimal dengan biaya pakan yang minimum.

Algoritma lain yang diketahui dapat menyelesaikan permasalahan semacam ini adalah *evolution strategies* (ES). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Milah & Mahmudy (2015), algoritma ES digunakan untuk menentukan komposisi pakan sapi potong dengan biaya pakan yang minimum. Berbeda dari penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi pakan sapi potong yang optimal sehingga dapat meningkatkan produktivitas sapi potong. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa algoritma ES mampu menghasilkan solusi yang optimal dengan biaya pakan yang rendah (Milah & Mahmudy, 2015).

Selain algoritma genetika dan ES, algoritma *improved particle swarm optimization* (IPSO) juga diketahui dapat menyelesaikan masalah yang menyangkut optimasi. Seperti Wu, et al. (2015) yang menerapkan algoritma IPSO untuk mengatasi masalah keandalan. Dikatakan bahwa masalah keandalan merupakan masalah yang memperhatikan biaya, bobot, dan *volume* (Wu, et al., 2011). Sama halnya dengan obyek pada penelitian ini yang juga memperhatikan biaya dan bobot. Dalam penelitiannya, Wu, et al. (2015) membandingkan algoritma IPSO dengan empat algoritma lain untuk menyelesaikan lima contoh masalah. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa algoritma IPSO yang diajukan lebih efisien dalam mendapatkan solusi optimum dari pada algoritma PSO dan *particle swarm optimization* berdasarkan *inertia weight* (IWPSO).

Penelitian lain yang menerapkan algoritma IPSO juga dilakukan oleh Chen, et al. (2015). Pada penelitian tersebut, algoritma IPSO digunakan untuk optimasi distribusi sumber daya pada *hybrid electric vehicles* (HEVs). Chen, et al. (2015) mengungkapkan bahwa algoritma yang berbasis PSO dinilai lebih efisien dan membutuhkan tingkat komputasi yang lebih rendah dibandingkan algoritma genetika. Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, algoritma IPSO yang dirancang terbukti lebih efisien dalam menemukan solusi optimum dibandingkan dengan metode PSO konvensional.

Algoritma IPSO juga digunakan oleh Lu, et al. (2015) untuk klasifikasi teks yang dikombinasikan dengan metode KNN *classifier*. Algoritma berbasis PSO dipilih karena lebih mudah diimplementasikan dan lebih efisien dalam mencari solusi optimum jika dibandingkan dengan algoritma semut dan algoritma genetika. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan bahwa program IPSO yang menggunakan *inertia weight* dan *constriction* secara asinkron dapat menghasilkan nilai *fitness* akhir terbaik dan dapat konvergen dalam waktu yang relatif cepat (Lu, et al., 2015).

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa sistem pemberian pakan pada sapi perah berperan penting dalam produktivitas susu. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi dalam penyusunan bahan pakan, penulis merancang sistem untuk optimasi komposisi pakan sapi perah menggunakan algoritma IPSO. Metode IPSO dipilih karena terbukti lebih unggul dari pada algoritma PSO konvensional dan memerlukan tingkat komputasi yang lebih kecil dibandingkan algoritma genetika (Chen, et al., 2015). Selain itu, algoritma berbasis PSO dinilai lebih mudah diimplementasikan dan lebih efisien dalam mencapai solusi optimum jika dibandingkan dengan algoritma semut dan algoritma genetika (Lu, et al., 2015). Hasil yang diharapkan dari sistem ini adalah komposisi pakan yang memenuhi kebutuhan nutrisi sapi perah dengan harga pakan yang seminimal mungkin.

Dari penjelasan latar belakang maka dapat disusun beberapa rumusan masalah diantaranya bagaimana implementasi algoritma IPSO untuk menentukan komposisi pakan sapi perah yang optimal. Yang kedua bagaimana menentukan parameter IPSO yang tepat supaya dapat menghasilkan komposisi pakan yang optimal. Dan terakhir bagaimana kualitas solusi yang dihasilkan menggunakan IPSO.

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan algoritma IPSO untuk menentukan komposisi pakan sapi perah yang optimal. Kedua menentukan parameter algoritma IPSO yang tepat supaya dapat menghasilkan komposisi pakan yang optimal. Dan ketiga mengetahui kualitas solusi yang dihasilkan menggunakan algoritma IPSO. Melalui sistem ini, peternak bisa memperoleh komposisi pakan yang memenuhi kebutuhan sapi perah dengan harga pakan yang minimal. Dengan begitu diharapkan produksi susu yang diperoleh bisa maksimal.

2. PAKAN SAPI PERAH

Sapi perah merupakan sapi yang dikembangkan dengan tujuan untuk diambil air susunya. Menurut Ditjennak (2010), Jenis sapi perah yang banyak dipelihara di dunia termasuk di Indonesia adalah sapi *Friesen Holstein* (FH). Hampir 495.089 ekor sapi FH dipelihara di Indonesia dan memenuhi 35% kebutuhan susu nasional (Aggraeni, 2012)

Sapi perah akan memproduksi susu dalam jumlah tinggi ketika dalam masa laktasi yang artinya masa produksi menghasilkan susu. Untuk memaksimalkan produksi susu dalam masa laktasi maka diperlukan asupan bahan pakan yang cukup. Menurut AAK (1974) ada dua jenis bahan pakan yang dibutuhkan oleh sapi perah antara lain sebagai berikut (Fakhroh, et al., 2015).

- Makanan kasar
- Makanan kasar adalah bahan pakan yang memiliki tingkat serat yang tinggi. Bahan ini biasanya disusun dari bahan hijauan seperti rumput atau leguminose yang masih segar.
- Makanan penguat (konsentrat)

Makanan penguat merupakan kebalikan dari makanan kasar atau bahan pakan yang memiliki tingkat serat yang rendah. Makanan ini berfungsi sebagai penyeimbang makanan kasar karena sifatnya yang mudah dicerna. Selain itu makanan penguat juga berfungsi memenuhi zat – zat makanan yang tidak terdapat dalam makanan kasar.

Pemberian bahan pakan hijauan dan konsentrat harus memenuhi nutrisi yang dibutuhkan untuk hidup pokok sapi, pertumbuhan, dan produksi susu (Alfian, 2014). Untuk menghitung kebutuhan nutrisi pertumbuhan digunakan persamaan 2.1 berikut (Council, 2001).

$$\text{Pertumbuhan} = 10\% \times NE_{L \text{ hidup pokok}} \quad 2.1$$

Jumlah nutrisi yang dibutuhkan seekor sapi perah didasarkan pada berat badan sapi, jumlah susu yang diproduksi, dan kandungan lemak pada susu tersebut (Djunaidi, 2016). Nutrisi yang dibutuhkan sapi perah antara lain bahan kering (BK), protein kasar (PK), dan *Total Digestible Nutrient* (TDN). Selain dari tiga nutrisi tersebut, seekor sapi perah juga membutuhkan *Net Energy of Lactation* (NE_L) untuk memproduksi susu (Alfian, 2014). Tabel 2.1 berikut menunjukkan kebutuhan nutrisi untuk hidup pokok sapi perah.

Tabel 2.1 Kebutuhan hidup pokok sapi laktasi

BB (Kg)	NE _L (Mkal)	TDN (Kg)	PK (g)
350	6,47	2,85	341
400	7,16	3,15	373
450	7,82	3,44	403
500	8,46	3,72	432
550	9,09	4,00	461

Sumber: (Alfian, 2014)

Sedangkan kebutuhan nutrisi sapi perah untuk memproduksi 1 liter susu ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Kebutuhan produksi 1 liter susu

Kadar Lemak (%)	NE _L (Mkal)	TDN (Kg)	PK (g)
2,5	0,59	0,260	72
3,0	0,64	0,282	77
3,5	0,69	0,364	82
4,0	0,74	0,326	87
4,5	0,78	0,344	92
5,0	0,83	0,365	98
5,5	0,88	0,387	103
6,0	0,93	0,410	108

Sumber: (Alfian, 2014)

Kemudian untuk kebutuhan nutrisi BK ditentukan berdasarkan Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Kebutuhan NE_L per kg BK

Produksi susu (L)	NEL/Kg BK (Mkal/Kg)
< 8	1,42
8 - 13	1,52
13 - 18	1,62
> 18	1,72

Sumber: (Alfian, 2014)

Ada 10 bahan pakan yang digunakan dalam penelitian ini yang terdiri dari hijauan dan konsentrat. Tabel 2.4 berikut menampilkan bahan pakan yang digunakan beserta kandungan gizi yang terkandung dan harga per kilogramnya.

Tabel 2.4 Daftar bahan pakan sapi perah

Bahan Pakan	BK (%)	PK (%)	TDN (%)	Harga (Rp/Kg)
Rumput gajah	36,5	12,8	55,7	1250

Bahan Pakan	BK (%)	PK (%)	TDN (%)	Harga (Rp/Kg)
Tebon jagung	35,1	8,8	68,8	1700
Pollard	82,82	18,12	84,78	4500
Bapro	81,79	18,69	32,456	3000
Ampas Tahu	20,66	25,69	73,625	500
Limbah roti	68,3	15	89,3	250
Jerami padi	80,8	3,9	45,47	500
Kulit kedelai	90,9	13,9	67,3	250
Daun Lamtoro	30	32,12	69,017	2000
Bekatul	90,6	15,5	84,8	2500

Sumber: (Alfian, 2014) (Council, 2001)

NE_L merupakan representasi dari energi yang terkandung dalam bahan pakan sapi perah laktasi. Sedangkan TDN merupakan data terkait energi yang tersedia pada suatu bahan pakan (Jayaneegara, 2014). Oleh karena itu untuk mendapatkan NE_L, TDN perlu dikonversi menggunakan persamaan berikut (Council, 2001).

$$NE_L = 0.0245 \times TDN - 0.12 \quad 2.2$$

3. ALGORITMA IMPROVED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (IPSO)

Algoritma PSO merupakan bagian dari *computational swarm intelligence* (CSI), yang mengacu pada perilaku sekelompok agen dalam menyelesaikan masalah dengan cara berkomunikasi dengan lingkungannya. CSI merupakan model yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang kompleks terutama masalah yang menyangkut optimasi. Algoritma PSO pertama kali diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, yang terinspirasi dari perilaku kawanan burung dalam menentukan pola supaya dapat terbang secara serentak dan membentuk grup dalam formasi yang optimal (Engelbrecht, 2007).

Setiap burung pada kelompok tersebut dianggap sebagai partikel yang merepresentasikan solusi dalam ruang pencarian *d*. Dengan kata lain PSO dapat diartikan sebagai kumpulan partikel dalam *swarm* yang bergerak dalam ruang pencarian. Tiap partikel ke-*i* mempunyai atribut posisi (x_{id}), kecepatan (v_{id}), posisi lokal terbaik ($pbest_{id}$), dan posisi global terbaik ($gbest_d$). Kecepatan dan posisi partikel diperbarui pada tiap iterasi menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2 berikut (Engelbrecht, 2007).

$$v_{id}(t+1) = v_{id} + c_1 r_1(t)(pbest_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 r_2(t)(gbest_d(t) - x_{id}(t)) \quad 3.1$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad 3.2$$

t merupakan jumlah iterasi. c_1 dan c_2 merupakan koefisien akselerasi yang ditentukan secara acak pada rentang nilai 0 sampai 4, namun biasanya c_1 dan c_2 dibuat konstan dengan nilai sama dengan 2 (Tuegeh,

et al., 2009). Sedangkan $r_1(t)$ dan $r_2(t)$ merupakan angka antara 0 dan 1 yang dibangkitkan secara acak pada tiap iterasi (Pan & Liu, 2011).

Pada algoritma PSO juga terdapat fungsi *fitness* yang digunakan untuk mengukur kualitas dari partikel. Fungsi *fitness* dari suatu masalah akan berbeda dengan fungsi *fitness* dari masalah yang lain sehingga fungsi ini ditentukan berdasarkan permasalahan yang dihadapi.

Algoritma PSO terus mengalami perkembangan untuk diperbaiki performasinya. Seperti Lu, et al. (2015) yang memperkenalkan *improved particle swarm optimization* dengan menambahkan komponen *inertia weight* (w) dan *constriction factor* (K) pada proses *update* kecepatan.

Di awal iterasi, partikel akan mencari solusi optimum pada area yang luas sehingga dibutuhkan nilai *constriction factor* yang besar. Kemudian semakin lama area penelusuran akan semakin kecil sehingga dibutuhkan nilai *constriction factor* yang lebih kecil. Dari penjelasan tersebut maka *constriction factor* diformulasikan menjadi persamaan 3.3 berikut (Lu, et al., 2015).

$$K = \frac{\cos\left(\frac{2\pi}{T_{max}} \times \left(t - \frac{T_{max}}{2}\right)\right) + 2.428571}{4} \quad 3.3$$

Dimana K merupakan *constriction factor* dan T_{max} adalah jumlah iterasi maksimum. Kemudian untuk formula *inertia weight* dikembangkan menjadi persamaan 3.4 berikut (Lu, et al., 2015).

$$\begin{cases} w = 0.857143 + (1 - 0.857143) \left(1 - \frac{t}{T_{max}}\right) & \text{jika } gbest_d \neq x_{id} \\ w = 0.857143 & \text{jika } gbest_d = x_{id} \end{cases} \quad 3.4$$

Komponen *inertia weight* dan *constriction factor* digunakan secara asinkron atau tidak bersamaan. Hal ini dikarenakan perbedaan karakteristik dua komponen tersebut. Komponen *inertia weight* berpengaruh terhadap kecepatan orisinil partikel. Sedangkan komponen *constriction factor* berpengaruh terhadap konvergensi partikel. Oleh karena itu formula kecepatan partikel pada persamaan 3.1 diperbarui menjadi persamaan 3.5 berikut (Lu, et al., 2015).

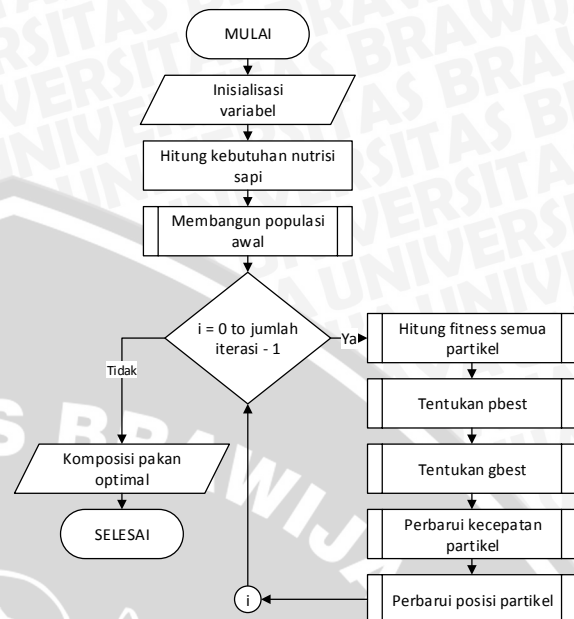
$$\begin{cases} v_{id} = wv_{id} + 2r_1(pb_{id} - x_{id}) + 2r_2(gb_{id} - x_{id}) & \text{jika } t < \frac{T_{max}}{2} \\ v_{id} = K[0.7v_{id} + 2r_1(pb_{id} - x_{id}) + 2r_2(gb_{id} - x_{id})] & \text{jika } t \geq \frac{T_{max}}{2} \end{cases} \quad 3.5$$

4. PERANCANGAN

Bagian ini menjelaskan alur penyelesaian masalah menggunakan algoritma IPSO. Adapun alur penyelesaiannya dijelaskan melalui Gambar 4.1. Penjelasan alur dari algoritma IPSO berdasarkan Gambar 4.1 adalah sebagai berikut.

a. Inisialisasi variabel merupakan proses menerima masukan dari *user* berupa variabel berat badan

sapi, produksi susu, kadar lemak susu, dan bahan pakan yang akan digunakan.



Gambar 4.1 Diagram alir algoritma IPSO

- Menghitung kebutuhan nutrisi sapi disesuaikan dengan berat badan sapi, produksi susu, dan kadar lemak susu. Jumlah nutrisinya ditentukan berdasarkan Tabel 2.1, Tabel 2.2, dan Tabel 2.3 serta persamaan 2.1.
- Membangun populasi awal merupakan proses membuat sejumlah partikel sebagai representasi dari solusi. Jumlah partikel dan dimensi yang dibuat sesuai dengan ukuran populasi dan jumlah bahan pakan yang digunakan. Tiap partikel akan mempunyai atribut seperti yang dijelaskan pada bab 3. Kecepatan awal partikel diatur sama dengan 0.
- Solusi yang diharapkan adalah komposisi pakan yang memenuhi kebutuhan nutrisi sapi dengan harga pakan yang seminimal mungkin. Maka fungsi *fitness* dirumuskan seperti berikut.

$$fitness = \frac{100000}{w_1 \times total\ harga + w_2 \times (total\ penalty \times 10000)} \quad 4.1$$

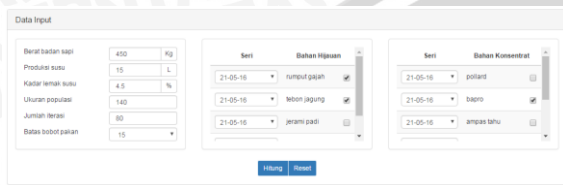
Penalty merupakan selisih antara nutrisi yang dibutuhkan dengan nutrisi yang tersedia. Jika nutrisi yang tersedia melebihi yang dibutuhkan maka nilai *penalty* dikalikan dengan bobot *penalty*. Jumlah nutrisi yang tersedia ditentukan berdasarkan Tabel 2.4 sesuai dengan bahan pakan yang digunakan. w_1 merupakan bobot untuk total harga, sedangkan w_2 merupakan bobot untuk total *penalty*. Pada penelitian ini w_1 dan w_2 dibuat sama yaitu 1.

- Tiap partikel menentukan posisi lokal terbaik (pb_{id}) berdasarkan nilai *fitness* nya. Posisi ini akan diperbarui jika partikel mendapatkan nilai *fitness* yang lebih baik dari yang pernah dicapai sebelumnya.

- f. Posisi global terbaik ($gbest_d$) merupakan $pbest_{id}$ dengan nilai $fitness$ tertinggi diantara semua partikel. Posisi ini akan diperbarui jika $gbest_d$ saat ini lebih baik dari pada sebelumnya. Posisi global terbaik pada akhir iterasi akan ditampilkan sebagai hasil optimasi.

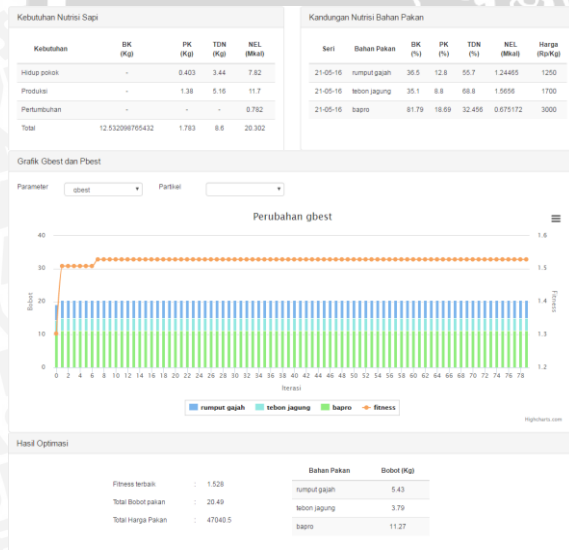
5. IMPLEMENTASI

Implementasi pada penelitian ini diwujudkan dalam bentuk aplikasi berbasis web. Hasil dari proses implementasi untuk *input* data ditunjukkan pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Antarmuka input data

Setelah proses perhitungan selesai, sistem akan menampilkan tabel kebutuhan nutrisi sapi dan tabel kandungan nutrisi bahan pakan. Ditampilkan juga grafik $pbest_{id}$ dan $gbest_d$ dan juga hasil optimasi seperti pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Antarmuka hasil perhitungan

6. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

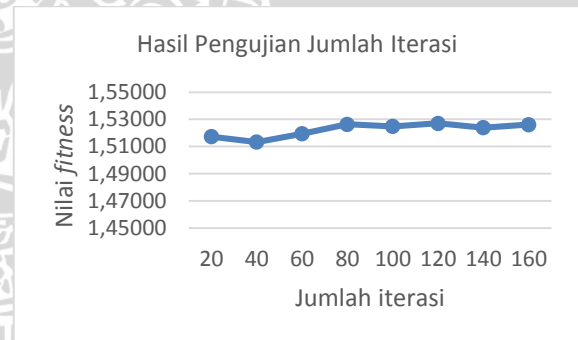
Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian parameter IPSO yang terdiri dari pengujian jumlah iterasi, ukuran populasi, dan interval berat bahan pakan. Pengujian parameter IPSO bertujuan untuk menentukan parameter yang tepat guna mendapatkan hasil optimasi yang optimum. Selain itu ditambahkan juga pengujian data dan pengujian perbandingan algoritma untuk mengukur kualitas solusi yang dihasilkan menggunakan algoritma IPSO.

6.1 Pengujian Jumlah Iterasi

Semua pengujian parameter IPSO dilakukan dengan menghitung rata – rata nilai $fitness$ pada tiap data uji. Algoritma berbasis PSO merupakan algoritma yang bersifat stokastik dimana pada setiap dijalankan akan menghasilkan keluaran yang berbeda (Mahmudy, 2015). Oleh karena itu, pada tiap data uji dilakukan percobaan sebanyak 5 kali untuk mendapatkan hasil yang valid. Pengujian jumlah iterasi menggunakan ukuran populasi 100 dan batas berat bahan pakan maksimum 15 kg. Hasil dari pengujian ini ditampilkan melalui Tabel 6.1 dan Gambar 6.1 berikut.

Tabel 6.1 Hasil pengujian jumlah iterasi

Jumlah iterasi	Nilai $fitness$			Rata-rata
	1	...	5	
20	1,51687		1,52497	1,51733
40	1,50888		1,50722	1,51337
60	1,51979		1,52104	1,51944
80	1,52836		1,52867	1,52636
100	1,51233		1,52853	1,52493
120	1,52622		1,5277	1,52711
140	1,52865		1,52718	1,52396
160	1,52864		1,52742	1,52617



Gambar 6.1 Grafik hasil pengujian jumlah iterasi

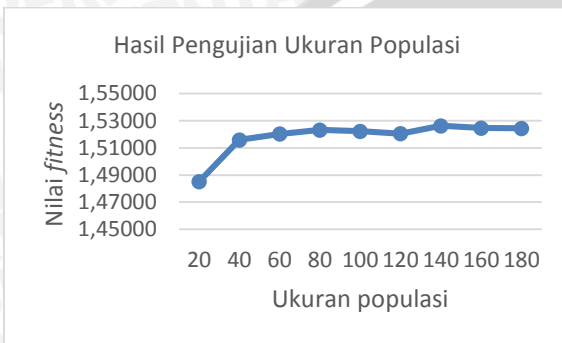
Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa jumlah iterasi mempunyai pengaruh terhadap nilai $fitness$ yang dihasilkan. Jumlah iterasi yang terlalu sedikit dapat menimbulkan konvergensi dini karena area penelusuran partikel terbatas. Sebaliknya jika jumlah iterasi terlalu banyak akan membuat tingkat komputasi semakin meningkat. Padahal nilai $fitness$ yang dihasilkan tidak ada kenaikan yang signifikan (Engelbrecht, 2007). Maka diambil kesimpulan bahwa jumlah iterasi optimum adalah 80. Hal itu disebabkan rata – rata nilai $fitness$ dari jumlah iterasi 80 sampai 160 terlihat stabil pada kisaran 1,52.

6.2 Pengujian Ukuran Populasi

Pengujian ukuran populasi menggunakan jumlah iterasi optimum yaitu 80 serta batas berat bahan pakan 15 kg. Hasil pengujian ukuran populasi dapat dilihat melalui Tabel 6.2 dan Gambar 6.2 berikut.

Tabel 6.2 Hasil pengujian ukuran populasi

Ukuran populasi	Nilai <i>fitness</i>			Rata-rata
	1	...	5	
20	1,51253		1,47982	1,48511
40	1,522		1,49706	1,51588
60	1,52383		1,51948	1,52021
80	1,51566		1,52618	1,52319
100	1,52719		1,52091	1,52228
120	1,52287		1,51771	1,52041
140	1,52753		1,52671	1,52619
160	1,52549		1,52465	1,52460
180	1,52812		1,5114	1,52429



Gambar 6.2 Grafik hasil pengujian ukuran populasi

Dari Gambar 6.2 diketahui bahwa ukuran populasi mempunyai pengaruh terhadap nilai *fitness* yang dihasilkan. Ukuran populasi yang besar akan meningkatkan keanekaragaman partikel dalam populasi. Hal ini membuat area penelusuran partikel semakin luas sehingga kemungkinan untuk mencapai solusi optimum semakin besar. Akan tetapi ukuran populasi yang terlalu besar akan berdampak pada tingkat komputasi yang semakin kompleks (Engelbrecht, 2007). Oleh karena itu disimpulkan bahwa ukuran populasi optimum adalah 140.

6.3 Pengujian Interval Berat Bahan Pakan

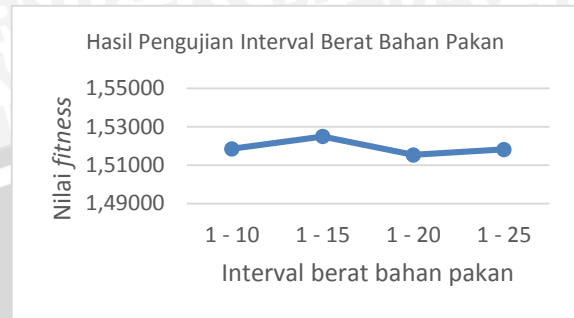
Pengujian interval ini menggunakan jumlah iterasi optimum yaitu 80 dan ukuran populasi optimum yaitu 140. Hasil pengujian ini disajikan melalui Tabel 6.3 berikut.

Tabel 6.3 Hasil pengujian

Interval	Nilai <i>fitness</i>			Rata-rata
	2	...	5	
1 - 10	1,5277		1,51167	1,51855
1 - 15	1,52701		1,5251	1,52498
1 - 20	1,5229		1,52623	1,51540
1 - 25	1,52741		1,50128	1,51821

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 6.3, diketahui bahwa rata – rata nilai *fitness* yang dihasilkan ada pada kisaran 1,51 sampai 1,52, atau lebih tepatnya berada pada rata – rata 1,51929. Namun rata – rata nilai *fitness* maksimum dicapai ketika interval berat bahan pakan antara 1 sampai 15. Dengan demikian disimpulkan bahwa interval bobot

bahan pakan yang optimal adalah 1 sampai 15. Grafik dari hasil pengujian ini ditampilkan pada Gambar 6.3 berikut.



Gambar 6.3 Grafik hasil pengujian

Hasil pengujian ini membuktikan bahwa interval berat bahan pakan berpengaruh terhadap nilai *fitness* yang dihasilkan. Interval yang terlalu kecil mengakibatkan partikel membutuhkan jumlah iterasi yang cukup banyak karena jaraknya yang terlalu jauh dengan solusi optimum. Akan jika intervalnya terlalu besar bisa mengakibatkan posisi awal partikel berada di luar area solusi optimum.

6.4 Pengujian Data

Pengujian data dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran menggunakan sistem dengan data di lapangan. Data yang digunakan merupakan data pemberian pakan oleh peternak sapi perah di desa Dresel, kecamatan Batu, kota Batu, dan juga data penerimaan susu di KUD Batu. Pada pengujian ini, sistem dijalankan dengan *input* yang sama seperti pada data yang digunakan. Dari proses pengujian didapatkan hasil seperti pada Tabel 6.4 berikut.

Tabel 6.4 Hasil pengujian data

No	Total Harga Pakan (Rp)		Selisih (Rp)
	Data hasil obeservasi	IPSO	
1	46500	32312,5	14187,5
2	49250	32080	17170
3	42500	26205	16295
4	44750	30357,5	14392,5
5	51000	29772,5	21227,5
Rata – rata (Rp)			16654,5

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 6.4, sistem optimasi berbasis algoritma IPSO dapat menghasilkan komposisi pakan 35% lebih murah dari pada cara konvensional yang dilakukan oleh peternak sapi di desa Dresel, Batu. Dengan menggunakan sistem ini, peternak dapat menghemat biaya pengeluaran pakan sebesar Rp 16654,5 pada setiap pemberian pakan.

6.5 Pengujian Perbandingan Algoritma

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran menggunakan algoritma IPSO dengan hasil keluaran menggunakan algoritma PSO. Pengujian ini merujuk pada penelitian Khaqqo (2016)

tentang optimasi komposisi pakan sapi perah menggunakan algoritma PSO. Pengujian dilakukan dengan menjalankan sistem menggunakan *input* yang sama seperti pada penelitian Khaqo (2016). Dari proses pengujian didapatkan hasil seperti pada Tabel 6.5 berikut.

Tabel 6.5 Hasil pengujian perbandingan algoritma

No	Total Harga Pakan (Rp)		Selisih (Rp)
	PSO	IPSO	
1	37975	34110	3865
2	47575	31772,4	15802,6
3	40250	32292,5	7957,5
4	40575	33722,5	6852,5
5	41200	34092,5	7107,5
Rata – rata (Rp)			8317

Dari Tabel 6.5 diketahui bahwa algoritma IPSO dapat menghasilkan komposisi pakan yang lebih murah dibandingkan menggunakan algoritma PSO. Dengan sistem ini, peternak dapat menghemat uang sebesar Rp 8317 pada tiap pemberian pakan.

Selain itu dalam menyelesaikan masalah ini, algoritma PSO menggunakan ukuran populasi optimum sebesar 400 dan jumlah iterasi optimum sebanyak 400. Sedangkan pada algoritma IPSO, ukuran populasi optimum yang diperoleh adalah 140 dan jumlah iterasi optimum adalah 80. Dengan begitu waktu komputasi algoritma IPSO akan lebih cepat dari pada algoritma PSO. Maka dapat disimpulkan bahwa algoritma IPSO lebih efisien dari pada algoritma PSO dalam menghasilkan solusi optimum.

7. KESIMPULAN

1. Algoritma *improved particle swarm optimization* mampu menyelesaikan masalah optimasi komposisi pakan sapi perah.
2. Dari proses pengujian parameter IPSO didapatkan jumlah iterasi optimum = 80, ukuran populasi optimum = 140, interval bobot bahan pakan optimum adalah 1 – 15.
3. Berdasarkan pengujian data diketahui bahwa sistem dapat menghasilkan komposisi pakan yang lebih murah sebesar Rp 16654 dari pada cara konvensional. Sedangkan Dari hasil pengujian perbandingan algoritma diketahui bahwa algoritma IPSO dapat menghasilkan komposisi pakan Rp 8317 lebih murah dari pada menggunakan PSO. Selain itu algoritma IPSO terbukti lebih efisien dalam menghasilkan solusi optimum dibandingkan algoritma PSO. Meskipun dari hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem menghasilkan komposisi pakan yang lebih murah dari pada cara konvensional, namun hasil tersebut belum diujikan secara langsung terhadap ternak sapi perah.

8. SARAN

1. Ada berbagai macam bentuk pengembangan algoritma PSO. Maka pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan algoritma PSO menjadi algoritma IPSO yang lain atau menggunakan algoritma IPSO lainnya yang telah ada untuk menyelesaikan masalah optimasi komposisi pakan sapi perah. Dengan demikian peneliti selanjutnya dapat mengetahui algoritma mana yang lebih tepat untuk menyelesaikan masalah ini.
2. Nutrisi lainnya selain bahan kering (BK), protein kasar (PK), *total digestible nutrient* (TDN), dan *net energy of lactation* (NE_L) bisa ditambahkan pada penelitian mendatang supaya komposisi pakan yang dihasilkan lebih optimum.

9. DAFTAR PUSTAKA

- Aggraeni, A., 2012. Perbaikan Genetik Sifat Produksi Susu dan Kualitas Susu Sapi Friesen Holstein Melalui Seleksi. *WARTAZOA*, 22(1), pp. 1-11.
- Alfian, A., 2014. *Manajemen Pemberian Pakan Sapi Perah Laktasi di Peternakan Anggota KUD Batu*, Kota Batu, Malang: Program Studi Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Brawijaya.
- Bamualin, A. M., Kusmartono & Kuswandi, 2009. Aspek Nutrisi Sapi Perah. Dalam: K. A. Santoso, K. Diwyanto & T. Toharmat, penyunt. *Profil Usaha Peternakan Sapi Perah Di Indonesia*. Bogor: LIPI Press, pp. 165-208.
- Chen, S.-Y., Hung, Y.-H., Wu, C.-H. & Huang, S.-T., 2015. Optimal energy management of a hybrid electric powertrain system. *Applied Energy*, Volume 160, pp. 132-145.
- Council, N. R., 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle Seventh Revised Edition, 2001*, Washington, D.C.: National Academy Press.
- Djunaidi, I. H., 2016. *Bagaimana Penyusunan Komposisi Pakan Sapi Perah* [Wawancara] (2 Mei 2016).
- Engelbrecht, A. P., 2007. *Computational Intelligence: An Introduction*. 2nd penyunt. South Africa: John Wiley & Sons Ltd.
- Fakhiroh, D., Mahmudy, W. F. & Indriati, 2015. Optimasi Komposisi Pakan Sapi Perah Menggunakan Algoritma Genetika. *DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya*, 5(14).
- Jayanegara, A., 2014. Evaluasi Pemberian Pakan Sapi Perah Laktasi Menggunakan Standar NRC 2001: Studi Kasus Peternakan Di Sukabumi. *Dalam: Prosiding Seminar Nasional, Optimalisasi Sumber Daya Lokal Pada Peternakan Rakyat Berbasis Teknologi, Universitas Hasanuddin, Makassar*, pp. 86-91.

- Khaqqo, A., 2016. *Optimasi Komposisi Pakan Sapi Perah Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)*, Malang: Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya.
- Lu, Y., Liang, M., Ye, Z. & Chao, L., 2015. Improved particle swarm optimization algorithm and its application in text feature selection. *Applied Soft Computing*, Volume 35, pp. 629-636.
- Mahmudy, W. F., 2015. Improved Particle Swarm Optimization untuk Menyelesaikan Permasalahan Part Type Selection dan Machine Loading pada Flexible Manufacturing System (FMS). *Dalam: Konferensi Nasional Sistem Informasi, Universitas Klabat, Airmadidi, Minahasa Utara, Sulawesi Utara*, pp. 1003 - 1008.
- Milah, H. & Mahmudy, W. F., 2015. Implementasi Algoritma Evolution Strategies Untuk Optimasi Komposisi Pakan Ternak Sapi Potong. *DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIHK Universitas Brawijaya*, 5(11).
- Pan, D. & Liu, Z., 2011. An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm. *Emerging Research in Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, Volume 237, pp. 550-556.
- Tuegeh, M., Soeprijanto & Purnomo, M. H., 2009. Modified Improved Particle Swarm Optimization for Optimal Generator Scheduling. *Dalam: Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2009 (SNATI 2009)*, Yogyakarta, pp. 85 - 90.
- Umiyasih, U. & Anggraeny, Y. N., 2008. Strategi Pakan Alternatif Sebagai Upaya Efisiensi Pada Usaha Sapi Perah Rakyat. *Dalam: Semiloka Nasional Prospek Industri Sapi Perah Menuju Perdagangan Bebas - 2020, Loka Penelitian Sapi Potong, Jawa Timur*, pp. 226 - 231.
- Wu, P., Gao, L., Zou, D. & Li, S., 2011. An improved particle swarm optimization algorithm for reliability problems. *ISA Transactions*, Volume 50, pp. 71-81.
- Yusdja, Y., 2005. Kebijakan Ekonomi Industri Agribisnis Sapi Perah di Indonesia. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 3(3), pp. 257-268.

