

OPTIMASI KOMPOSISI PAKAN SISTEM POLIKULTUR IKAN DAN UDANG MENGGUNAKAN ALGORITMA *EVOLUTION STRATEGIES*

Nenovli Widerti¹⁾, Imam Cholissodin, S.Si., M.Kom.²⁾,
Dian Eka Ratnawati, S.Si., M.Kom.³⁾

Program Studi Teknik Informatika
Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer
Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia
Email: nenovlii[at]gmail.com¹⁾, imamcs [at] ub.ac.id²⁾,
dian_ilkom [at]ub.ac.id³⁾

ABSTRAK

Banyak pembudidaya membudidayakan ikan dan udang dengan sistem polikultur. Untuk meningkatkan produktivitas hasil budidaya ikan dan udang dapat menggunakan pakan buatan. Biaya pakan buatan bisa mencapai 60% dari biaya produksi. Untuk menekan biaya pakan maka, pakan buatan dapat dibuat sendiri, namun tidak semua pembudidaya mengetahui formulasi komposisi bahan pakan yang tepat sesuai dengan kebutuhan ikan. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengatasi masalah komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang menggunakan algoritma *evolution strategies*.

Untuk mengimplementasi algoritma *evolution strategies* dalam penentuan komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang yang harus dilakukan adalah menentukan kebutuhan nutrisi dan jumlah pakan dari ikan yang akan dibudidayakan dengan sistem polikultur. Dalam proses algoritma *evolution strategies* langkah pertama yang dilakukan adalah membangkitkan individu sebanyak jumlah populasi. Individu dibangkitkan dengan cara *random* bilangan dengan rentang tertentu. Kemudian akan dilakukan proses mutasi untuk menghasilkan keturunan. Setelah proses mutasi selesai dilakukan selanjutnya yaitu melakukan proses seleksi dengan menggunakan seleksi elitism.

Dari Hasil pengujian solusi optimal komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang diperoleh dari rentang kromosom 1-100, ukuran populasi 30, ukuran *offspring* 8μ , jumlah generasi 500 pada siklus ES ($\mu/r+\lambda$) memperoleh rata-rata nilai *fitness* tertinggi yaitu 77.08264553. Hasil akhir dari penelitian ini adalah rekomendasi komposisi pakan ikan sistem polikultur ikan dan udang.

Kata kunci : Sistem polikultur ikan dan udang, optimasi komposisi pakan, *evolution strategies*

ABSTRACT

Many cultivators cultivate fish and shrimp in polyculture systems. To improve the productivity of the cultivation fish and shrimp can use artificial feed. Artificial feed costs could reach 60% of the cost production. To reduce the cost of feed, the artificial feed can be made, but not all cultivators know the composition of feed ingredient formulations appropriate to the needs of the fish. Therefore, this research was conducted to address the problem the composition of feed fish and shrimp polyculture system using *evolution strategies* algorithm.

To implement *evolution strategies* algorithm in determining the composition of feed fish and shrimp polyculture system that must be done is to determine the nutritional needs and the amount of feed of the fish to be cultivated with a polyculture system. In the process of *evolution strategies* algorithm first step is to generate of individuals as much as the population sizes. Individuals generated by way of random numbers with a certain range. Then, it will be done the mutation process to produce offspring. Once the process is complete mutation do next is to do the selection process using elitism selection.

The test results are the optimal solution composition of feed fish and shrimp polyculture system obtained range of chromosomes 1-100, population size 30, offspring size 8μ , generation number 500, and cycles ($\mu/r+\lambda$) gained an average of the highest fitness value is 77.08264553. The end result of this research is recommendation the composition of fish feed fish and shrimp polyculture system.

Keywords: polyculture systems of fish and shrimp, optimization of the feed composition, *evolution strategies* algorithm.

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini masyarakat yang mengkonsumsi ikan terus meningkat. Menurut data statistik Kementerian Kelautan dan Perikanan konsumsi ikan penduduk Indonesia tahun 2010-2014 terus mengalami peningkatan yaitu pada tahun 2010 konsumsi ikan mencapai 30,48 Kg/Kapita/Tahun, tahun 2011 mencapai 32,25Kg/Kapita/Tahun, tahun 2012 mencapai 33,89Kg/Kapita/Tahun, tahun 2013 mencapai 35,21 Kg/Kapita/Tahun dan tahun 2014 mencapai 38,00 Kg/Kapita/Tahun. Konsumsi ikan terus meningkat karena harga ikan relatif murah dan dapat memenuhi gizi masyarakat. Dalam membudidayakan ikan ada yang dikenal dengan istilah budidaya sistem polikultur

Menurut Afrianto dan Liviawaty (1998) sistem polikultur yaitu pada satu kolam dipelihara berbagai jenis ikan yang membutuhkan jenis makanan yang berbeda sehingga setiap jenis ikan tidak akan bersaing dalam mencari makanan. Menurut Morachman, *et al.*, (2010) polikultur merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan air yang mengakibatkan penurunan produksi ikan di kolam.

Sistem polikultur dapat mengefisienkan lahan dan dapat menguntungkan karena dalam satu lahan dapat membudidayakan lebih dari satu jenis. Selain itu hasil produksi akan lebih tinggi karena dalam satu periode pembudidayaan hasil pemanenan akan mendapatkan lebih satu jenis ikan. Contoh penerapan budidaya polikultur adalah pembudidayaan ikan dan udang seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Kholifah, Trisyani dan Yuniar pada tahun 2008 yang meneliti tentang sistem polikultur ikan bandeng dan udang windu. Selain ikan bandeng dan udang windu terdapat juga penelitian tentang polikultur ikan nila dan udang vaname. Polikultur ikan nila dan udang vaname terdapat dalam penelitian yang dilakukan oleh junior *et al* pada tahun 2012 dan Simão *et al* (pada tahun 2013 yang meneliti tentang strategi pakan pada sistem polikultur nila dan udang. Untuk mendapatkan hasil pemanenan yang baik dapat dilakukan dengan meningkatkan produktivitas ikan. Untuk meningkatkan produktivitas ikan dapat menggunakan pakan buatan.

Menurut Wardhani, Safrizal dan Chairi (2011) salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas ikan dalam budidaya per unit lahan adalah melalui penggunaan pakan buatan, terutama ketika produksi pakan alami sudah tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan nutrisi ikan yang ditebar dengan kepadatan tinggi. Tujuan dari pemberian pakan buatan pada ikan adalah untuk menyediakan kebutuhan gizi dan nutrisi ikan agar kesehatan dan pertumbuhan ikan

baik. Pakan yang berkualitas, baik secara kegunaan maupun fisik merupakan kunci untuk mencapai tujuan produksi dan ekonomis budidaya ikan. Pengetahuan tentang gizi ikan dan pakan ikan berperan penting dalam mendukung pengembangan budidaya ikan (Dharmawan, 2012).

Mahalnya harga pasaran pakan ikan produksi pabrik membuat banyak pembudidaya membuat pakan sendiri. Menurut Dharmawan (2012) biaya pakan ikan dapat mencapai 60% dari biaya produksi. Jika pakan dibuat sendiri maka akan mampu menekan biaya pembelian pakan. Pakan buatan merupakan campuran dari bahan-bahan pakan yang memiliki kandungan nutrisi dan harga yang berbeda-beda (Wardhani, LK, Safrizal, M dan Chairi, 2011). Namun, tidak semua pembudidaya mengetahui formulasi komposisi bahan pakan yang tepat sesuai dengan kebutuhan ikan. Kesalahan penentuan bahan-bahan pakan yang akan digunakan dapat berdampak pada rendahnya kandungan nutrisi dan tingginya biaya pakan buatan yang dihasilkan (Wardhani, LK, Safrizal, M dan Chairi, 2011).

Pakan yang tepat adalah pakan yang memenuhi kebutuhan ikan serta kandungan gizi dan nutrisi seperti kandungan protein, lemak, karbohidrat, serat kasar dan air. Bahan-bahan yang dapat digunakan untuk komposisi pakan ikan banyak tersedia dan nutrisi yang terkandung juga berbeda-beda. Dalam mencari optimasi komposisi pakan yang sesuai dengan kebutuhan nutrisi ikan yang baik diambil dari kombinasi bahan pakan yang terbaik. Terdapat penelitian sebelumnya yang membahas optimasi komposisi bahan pakan ikan yang dilakukan oleh Wardhani, Safrizal dan Chairi (2011). Dalam penelitian tersebut menunjukkan bahwa algoritma genetika dapat menyelesaikan permasalahan optimasi komposisi pakan ikan.

Algoritma *Evolution Strategies* (ES) merupakan cabang dari *evolution algorithm* yang baik digunakan untuk optimasi. ES merupakan algoritma yang sering digunakan untuk eksperimen empiris khususnya pada masalah-masalah optimasi numerik. Kecepatan proses ES lebih baik dibandingkan dengan GA untuk masalah optimasi bernilai real (Suyanto, 2008).

Algoritma *evolution strategies* pernah digunakan untuk optimasi pakan ternak sapi. Penelitian tersebut dilakukan oleh Milah dan Mahmudy (2015) yang menunjukkan ukuran populasi (μ) sebanyak 40, ukuran *offspring* $\lambda=4\mu$, dan banyak generasi 1000 memperoleh *fitness* tertinggi yaitu 0.203. Hasil akhir dari penelitian tersebut berupa rekomendasi komposisi pakan ternak sapi.

2. PERMASALAHAN

Berdasarkan uraian pendauluan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu bagaimana mengimplementasikan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang dan bagaimana nilai *fitness* yang dihasilkan oleh *Evolution Strategies* dalam mengoptimasi komposisi pakan sistem polikultur ikan udang?

3. TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Studi terkait

Telah terdapat beberapa penelitian yang membahas optimasi komposisi pakan ikan, penelitian tersebut dilakukan dengan berbagai macam objek dan metode. Penelitian pertama yang dilakukan oleh Wardhani, Safrizal, Chairi pada tahun 2011 tentang optimasi komposisi bahan pakan ikan menggunakan metode *multi-objective genetic algorithm*. Penelitian tersebut memiliki tujuan untuk meminimalkan perbedaan kebutuhan nutrisi dan efisiensi biaya yang dihasilkan. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan parameter algoritma genetika yang bervariasi, penerapan metode pada aplikasi ikan dapat bekerja dengan rata-rata tingkat keberhasilan pemenuhan nilai gizi mencapai 100% dan tingkat efisiensi biaya mencapai 46.5%. Kombinasi optimal untuk menghasilkan pakan sejumlah 6kg tersebut dapat dicapai dengan menggunakan parameter panjang gen 5, jumlah kromosom 200, probabilitas *crossover* 0.01, probabilitas mutasi 0.2, probabilitas *elitism* 0.03 dan jumlah generasi 5. Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian ini adalah pada penelitian yang akan dilakukan tujuan peneliti adalah untuk menemukan solusi optimal masalah pakan ikan yang dibudidayakan dengan sistem polikultur sedangkan pada penelitian ini menemukan solusi optimal untuk pakan ikan yang terdiri dari satu jenis ikan tawar dan algoritma yang digunakan adalah *multi-objective genetic algorithm* sedangkan dalam penelitian ini algoritma yang digunakan adalah *evolution strategies*.

Penelitian yang kedua yang dilakukan oleh Milah, Mahmudy pada tahun 2015 yang berjudul implementasi algoritma *Evolution Strategies* untuk optimasi komposisi pakan ternak sapi potong. Dalam penelitian tersebut berusaha untuk mengatasi masalah komposisi pakan ternak sapi potong menggunakan algoritma *Evolution Strategies (ES)*. Tipe proses ES yang digunakan adalah $(\mu/r + \lambda)$ sehingga proses reproduksi melibatkan rekombinasi dan hasil mutasi nantinya akan diikuti bersama parent dalam proses seleksi dan seleksi menggunakan *elitism selection*. Solusi optimal diperoleh dari ukuran populasi sebanyak 50, ukuran *offspring* 4, *rentang*

kromosom 0-20 (*real code*) dan jumlah generasi 500 memperoleh rata-rata nilai *fitness* tertinggi yaitu 0.998. Hasil akhir berupa rekomendasi komposisi pakan ternak sapi potong. perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian ini adalah pada penelitian yang akan dilakukan objek dari penelitian adalah pakan ikan pada sistem budidaya polikultur sedangkan penelitian yang telah dilakukan objeknya adalah tentang pakan sapi.

Penelitian yang ketiga yang dilakukan oleh Abad dan Elipe pada tahun 2015 yang berjudul *Evolution strategies for computing periodic orbits*. Dalam penelitian tersebut Algoritma strategi evolusi yang dikembangkan untuk mendeteksi orbit periodik dalam masalah dinamik. Algoritma ini diterapkan pada masalah gerak partikel di bawah medan gravitasi dari kawat melingkar yang solid. Teknik algoritma yang digunakan adalah $\mu/\rho + \lambda$. Hasil dari penelitian tersebut adalah Algoritma *Evolution Strategies* yang disesuaikan dapat mengkonversi masalah dalam mencari orbit periodik ke dalam pencarian fungsi minimal. dapat mengurangi jumlah variabel yang digunakan, yang secara dramatis mengurangi waktu komputasi. Perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan adalah objek yang digunakan pada penelitian ini adalah orbit periodik sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan adalah ikan sistem polikultur.

3.2. Dasar Teori

Pakan Ikan Buatan

Pakan buatan adalah pakan yang dibuat khusus dengan formulasi tertentu berdasarkan pertimbangan kebutuhannya. Pembuatan pakan sebaiknya didasarkan pada pertimbangan kebutuhan nutrisi ikan, kualitas bahan baku, dan nilai ekonomis. Dengan pertimbangan yang baik, dapat dihasilkan pakan buatan yang disukai ikan, tidak mudah hancur dalam air, aman bagi ikan (Dharmawan, 2012).



Gambar 1 Contoh Pakan Buatan

Sumber : Suyanto dan Takarina, 2009

Gambar 1 merupakan contoh pakan buatan yang disering disebut dengan nama pakan pellet. Pakan pellet dapat digunakan untuk ikan dan udang.

Budidaya Polikultur

Polikultur merupakan metode budidaya yang digunakan untuk memelihara banyak komoditas

dalam satu lahan, seperti udang, bandeng, dan rumput laut. Melalui sistem ini, diperoleh manfaat, yaitu tingkat produktifitas lahan yang tinggi (Yasin, 2013).

Evolution Strategies (ES)

Menurut Suyanto (2008) algoritma *evolution strategies* (ES) diperkenalkan pertama kali oleh Ingo Rechenberg di Jerman pada era 1970-an. Ide ide yang terdapat pada ES memang sangat mirip dengan GA. Tetapi Ingo Rechenberg mengembangkan ES secara terpisah dari GA. Berbeda dengan GA yang bisa menghasilkan perubahan signifikan, ES justru berbasis pada prinsip sebab akibat (Suyanto, 2008).

Proses Evolution Strategies

Beberapa notasi digunakan oleh ES yaitu μ (*miu*) menyatakan ukuran populasi, λ (*lamda*) menyatakan banyaknya *offspring* yang dihasilkan pada proses reproduksi. (Mahmudy, 2013).

Secara umum terdapat empat tipe proses dari ES, yaitu (Suyanto, 2008) :

1. (μ, λ) : Sejumlah μ orang tua menghasilkan sejumlah λ anak hanya menggunakan mutasi (tanpa rekombinasi). Seleksi *survivor* hanya dilakukan terhadap λ anak.
2. $(\mu/r, \lambda)$: sama dengan proses (μ, λ) , tetapi jumlah λ anak dihasilkan melalui proses rekombinasi dan mutasi.
3. $(\mu+\lambda)$: Sejumlah μ orang tua menghasilkan sejumlah λ anak hanya menggunakan mutasi (tanpa rekombinasi). Seleksi *survivor* hanya dilakukan gabungan anak dan orang tua $(\mu+\lambda)$.
4. $(\mu/r+\lambda)$: sama dengan proses $(\mu+\lambda)$, tetapi jumlah λ anak dihasilkan melalui proses rekombinasi dan mutasi.

Representasi Kromosom

Solusi dari suatu masalah harus dipetakan (encoding) menjadi string *chromosome*. String *chromosome* ini tersusun atas sejumlah gen. Selain gen yang menyatakan variabel keputusan, parameter tambahan yang melekat pada setiap *chromosome* adalah σ (sigma). Nilai ini menyatakan level mutasi untuk *chromosome* tersebut. Nilai ini akan ikut berubah secara adaptif sepanjang generasi (Mahmudy, 2013).

Inisialisasi

Tahap populasi inisial dibangkitkan secara random. Tahap inisialisasi ini bertujuan untuk membangkitkan humpunan solusi baru secara acak yang terdiri dari sejumlah string kromosom dan ditempatkan pada penampungan yang disebut dengan populasi. Pada tahap ini μ (*miu*) yang menyatakan ukuran populasi harus ditentukan. Panjang string kromosom dihitung berdasarkan presisi variabel dan solusi yang dicari (Mahmudy, 2013).

Reproduksi

Reproduksi bertujuan untuk menghasilkan keturunan dari individu-individu yang ada di populasi (Milah, Mahmudy, 2015). karena proses algoritma yang digunakan adalah $(\mu/r+\lambda)$ maka dalam poses reproduksi menggunakan rekombinasi dan mutasi.

1. Rekombinasi

Rekombinasi dilakukan untuk menghasilkan *offspring* sebanyak λ dari sejumlah μ individu dalam populasi. Setiap satu individu *offspring* dihasilkan dari beberapa induk. Induk dipilih secara acak dari populasi. Metode rekombinasi paling sederhana adalah dengan menghitung rata-rata nilai elemen induk (Mahmudy, 2013).

2. Mutasi

Mutasi merupakan proses yang sangat penting untuk menemukan solusi. Mutasi dilakukan untuk mengubah nilai gendengan menambah bilangan *random* yang dibangkitkan berdasarkan distribusi normal (Rifqi, Maharani dan Shaufiah, 2011).

Untuk menghitung nilai kromosom mutasi dapat menggunakan persamaan (1) (Mahmudy, 2013) :

$$\begin{aligned} X_1' &= X_1 + \sigma N(0, 1) \\ X_2' &= X_2 + \sigma N(0, 1) \end{aligned} \quad (1)$$

$N(0, 1)$ merupakan bilangan acak yang mengikuti sebaran normal dengan rata-rata sebesar 0 dan standard deviasi sebesar 1. Pada program komputer, nilai $N(0, 1)$ bisa didapatkan dengan membangkitkan dua bilangan random r_1 dan r_2 pada interval $[0, 1]$. Rumus yang digunakan ditunjukkan pada persamaan (2) (Schwefel, 1995):

$$N(0, 1) = \sqrt{-2 \cdot \ln r_1} \sin \pi r_2 \quad (2)$$

Misalkan $r_1 = 0,4749$ dan $r_2 = 0,3296$ maka didapatkan $N(0, 1) = 1,0709$.

Nilai σ dinaikkan jika ada paling sedikit 20% hasil mutasi yang menghasilkan individu yang lebih baik dari induknya. Jika tidak maka nilai σ diturunkan

Perhitunga Fitness

Dalam proses ini setiap kromosom dalam populasi yang telah dibangkitkan dihitung nilai *fitnessnya* (Mahmudy, 2013). Tujuan pada penelitian ini adalah untuk membuat optimasi komposisi bahan pakan dengan meminimalkan harga serta mempertimbangkan nutrisi pakan ikan sehingga permasalahan *fitness* yang digunakan adalah pesmaan untuk meminimalkan fungsi (minimasi) Persamaan *fitness* yang digunakan ditunjukkan pada persamaan (3) (Suyanto, 2008) :

$$Fitness = \frac{1}{h+a} \quad (3)$$

h adalah nilai yang diminimalkan dan a adalah bilangan konstanta

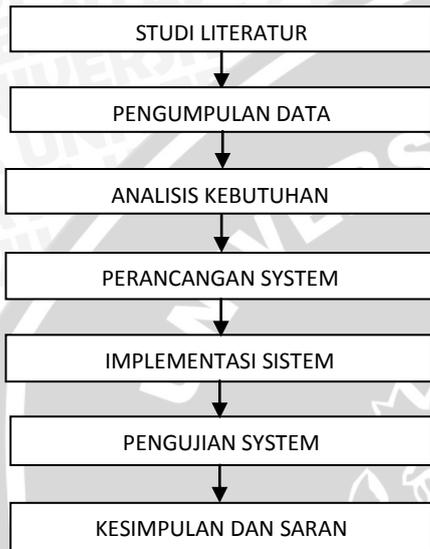
Seleksi

Seleksi menggunakan *elitism selection* melibatkan individu dalam *offspring* dan individu

induk dalam populasi. Metode seleksi elitism bekerja dengan cara mengumpulkan semua individu dalam populasi (*parent*) dan *offspring* dalam satu penampungan. Metode ini melakukan seleksi pada individu-individu dalam penampungan berdasarkan nilai *fitness* tertinggi (Mahmudy, 2013).

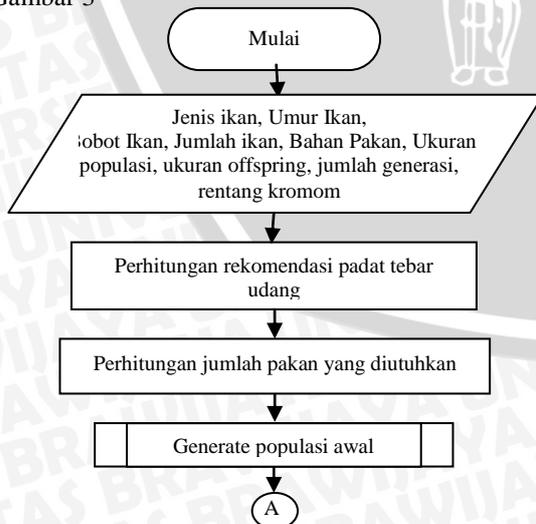
4. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2

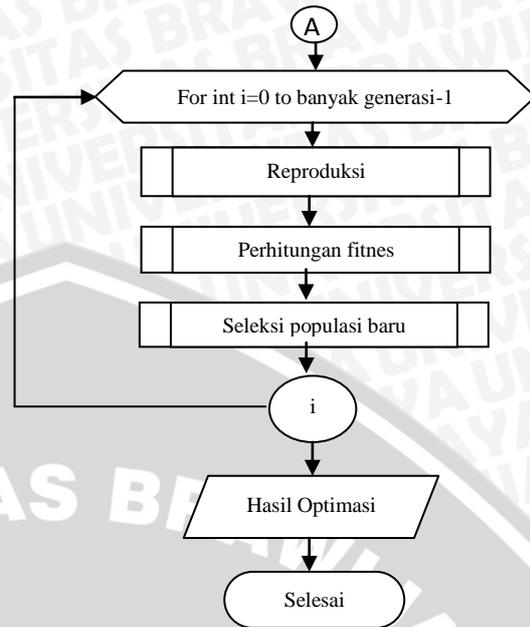


Gambar 2 Tahapan Penelitian

Berdasarkan Gambar 2 penjabaran langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi Literatur, pengumpulan data, analisis kebutuhan, implementasi sistem, perancangan sistem, pengujian sistem dan kesimpulan dan saran. Diagram alir sistem di tunjukan pada Gambar 3



Gambar 3 Diagram Alir Sistem



Gambar 4 Diagram Alir Sistem (lanjutan)

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 proses pada sistem meliputi 4 proses utama yaitu generate populasi awal, reproduksi, perhitungan fitness, dan seleksi populasi baru. Sebelum generate populasi awal sistem akan menghitung jumlah pakan yang dibutuhkan. Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu

$$\text{Padat tebar udang} = \frac{\text{jumlah tebar ikan/perbandingan tebar ikan} * \text{perbandingan tebar udang}}{\text{udang}} \quad (4)$$

$$\text{Jumlah pakan} = \frac{\text{dosisi pakan} \times (\text{berat ikan/jumlah ikan})}{100} \quad (5)$$

menghitung bobot bahan menggunakan rumus (6)

$$\text{Bobot bahan} = \frac{\text{gen}}{\text{total gen}} \times \text{jumlah_pakan} \quad (6)$$

Menghitung biaya bahan menggunakan rumus (7) :

$$\text{Biaya bahan} = \text{bobot bahan} \times \text{harga bahan} \quad (7)$$

Menghitung kandungan nutrisi tiap bahan menggunakan persamaan (8) :

$$\text{Kandungan nutrisi bahan} = \frac{\text{bobot bahan} \times (\text{nutrisi bahan}/100)}{\text{total bobot}} \quad (8)$$

Menghitung nutrisi yang dibutuhkan menggunakan persamaan (9)

$$\text{Kebutuhan nutrisi} = \frac{\text{nutrisiyg dibutuhkan} / 100}{\text{jumlah_pakan}} \quad (9)$$

Menghitung *penalty* tiap bahan menggunakan rumus (10)

$$\text{penalty} = \frac{\text{nutrisi yang dibutuhkan} - \text{nutrisi yang tersedia}}{\text{total nutrisi}} \quad (10)$$

Contoh perhitungan manual jika diketahui jenis ikan yang dibudidayakan adalah ikan bandeng dan udang. Ikan bandeng berumur 21 minggu dengan berat 0.6kg/ekor dan jumlah populasi ikan yaitu 500 ekor. Perbandingan antara ikan bandeng dan udang adalah 2,5:20 ekor/m²

sehingga rekomendasi padat tebar untuk udang yang akan dibudidayakan dengan sistem polikultur menggunakan rumus (4)

$$\text{padat tebar udang} = (500/2,5) * 20 = 4000$$

Dari data ikan bandeng dapat diketahui nutrisi pakan ikan yang dibutuhkan ditunjukkan pada Tabel 1 yaitu: Protein = 20%, Lemak = 8%, Serat = 4 %

Tahap selanjutnya menghitung jumlah pakan dengan menggunakan rumus (5)

Dosis pakan yang dibutuhkan oleh ikan adalah 3% di ambil pada Tabel 4

$$\text{Jumlah pakan} = (3 \times (0.6 \text{ Kg/ekor} \times 500 \text{ ekor})) / 100 = 9 \text{ Kg}$$

Nutrisi dari bahan pakan yang dimiliki ditunjukkan pada Tabel 3 dan harga bahan pakan adalah

| | |
|-------------------|-------------------|
| Tepung Ikan | Sorghum |
| Protein : 60.50 % | Protein : 13.00 % |
| Lemak : 9.40 % | Lemak : 2.05 % |
| Serat : 0.70 % | Serat : 13.5 % |
| Harga : 16000 | Harga : 7000 |

| |
|-------------------|
| Dedak Gandum |
| Protein : 11.99 % |
| Lemak : 1.48 % |
| Serat : 3.75 % |
| Harga : 5000 |

inisialisasi parameter *evolution strategies*

Jumlah populasi (μ) = 10, Jumlah *offspring* (λ) = 2μ , Jumlah generasi = 1 dan siklus yang digunakan adalah ($\mu + \lambda$).

1. Generate populasi Awal

Populasi awal dibentuk dengan cara random dengan range 1-9. Dan nilai σ dibangkitkan secara random dengan range (0-1). Maka representasi kromosom ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Populasi Awal

| P | Kromosom | | | σ_1 | σ_2 | σ_3 | total gen |
|----|-------------|--------------|---------|------------|------------|------------|-----------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | | | | |
| | Tepung Ikan | Dedak Gandum | Sorghum | | | | |
| 1 | 8.16276 | 8.94391 | 6.78874 | 0.01790 | 0.63646 | 0.22619 | 23.89541 |
| 2 | 5.20865 | 2.40946 | 4.08231 | 0.69017 | 0.16930 | 0.46805 | 11.70041 |
| 3 | 4.69300 | 6.32285 | 6.61674 | 0.50272 | 0.56918 | 0.40372 | 17.63259 |
| 4 | 5.02396 | 6.68918 | 4.10275 | 0.51609 | 0.66797 | 0.91523 | 15.81590 |
| 5 | 4.61644 | 4.46120 | 6.88136 | 0.54456 | 0.93337 | 0.71777 | 15.95900 |
| 6 | 7.96523 | 7.86736 | 3.17406 | 0.24313 | 0.62246 | 0.57190 | 19.00665 |
| 7 | 4.57312 | 1.79200 | 6.62836 | 0.71401 | 0.12630 | 0.40519 | 12.99348 |
| 8 | 3.10345 | 6.23488 | 3.19139 | 0.45843 | 0.12890 | 0.78984 | 12.52973 |
| 9 | 6.82137 | 4.52822 | 2.61417 | 0.38927 | 0.41628 | 0.72322 | 13.96376 |
| 10 | 3.56733 | 5.99060 | 3.25251 | 0.57843 | 0.21028 | 0.10296 | 12.81044 |

2. Memuat populasi baru dengan mutasi

Contoh perhitungan manual untuk menghitung nilai $N_1(0,1)$, $N_2(0,1)$ dan $N_3(0,1)$ pada individu baru ke 1 gen x_1 dan gen x_2 , jika $r_1 = 0.29941$, $r_2 = 0.54056$ untuk gen x_1 , $r_1 = 0.61270$ $r_2 = 0.19362$ untuk gen x_2 dan $r_1 = 0.34552$ $r_2 = 0.67913$ untuk gen x_3 maka:

$$\begin{aligned} N_1(0,1) &= \sqrt{-2 \ln r_1 \sin 2\pi r_2} \\ &= \sqrt{-2 \ln 0.29941 \sin 2\pi 0.54056} \\ &= -0.39149 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_2(0,1) &= \sqrt{-2 \ln r_1 \sin 2\pi r_2} \\ &= \sqrt{-2 \ln 0.61270 \sin 2\pi 0.19362} \\ &= 0.92838 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_3(0,1) &= \sqrt{-2 \ln r_1 \sin 2\pi r_2} \\ &= \sqrt{-2 \ln 0.34552 \sin 2\pi 0.67913} \\ &= -1.31570 \end{aligned}$$

Untuk melihat hasil lengkap perhitungan $N(0,1)$ dapat dilihat pada Tabel 10. Setelah menghitung nilai $N(0,1)$ yang dilakukan adalah menghitung nilai gen kromosom yang telah mutasi

$$\begin{aligned} \text{Contoh perhitungan nilai } x'_1, x'_2 \text{ dan } x'_3 \\ x'_1 &= x_1 + \sigma_1 N_1(0,1) \\ &= 8.16276 + (0.01790x - 0.39149) \\ &= 8.15575 \\ x'_2 &= x_2 + \sigma_2 N_2(0,1) \\ &= 8.94391 + (0.63646x 0.92838) \\ &= 9.53478 \\ x'_3 &= x_3 + \sigma_3 N_3(0,1) \\ &= 6.78874 + (0.22619x - 1.31570) \\ &= 6.49115 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan x'_1 , x'_2 , x'_3 setiap individu dapat dilihat di Tabel 2

Tabel 2 Hasil Perhitungan Individu Baru

| C(t) | P | N ₁ (0.1) | N ₂ (0.1) | N ₃ (0.1) | x' ₁ | x' ₂ | x' ₃ | total gen |
|------|-----|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| c1 | p1 | -0.39149 | 0.92838 | -1.31570 | 8.15575 | 9.53478 | 6.49115 | 24.18169 |
| c2 | | -0.23210 | -0.81653 | -1.33939 | 8.15861 | 8.42423 | 6.48579 | 23.06862 |
| c3 | p2 | -0.26324 | 0.08969 | 0.40950 | 5.02697 | 2.42464 | 4.27397 | 11.72558 |
| c4 | | -0.89865 | 2.08779 | 0.06791 | 4.58842 | 2.76292 | 4.11409 | 11.46544 |
| c5 | p3 | 0.13162 | 0.38752 | -0.78777 | 4.75916 | 6.54342 | 6.29870 | 17.60129 |
| c6 | | 0.83162 | 1.06079 | -0.30187 | 5.11107 | 6.92664 | 6.49487 | 18.53258 |
| c7 | p4 | 0.48872 | -0.56522 | -0.88728 | 5.27619 | 6.31163 | 3.29068 | 14.87850 |
| c8 | | -1.00203 | 0.35955 | 0.55835 | 4.50682 | 6.92936 | 4.61377 | 16.04995 |
| c9 | p5 | 0.42306 | -0.54633 | -0.41562 | 4.84682 | 3.95127 | 6.58304 | 15.38114 |
| c10 | | -0.69499 | -0.77897 | -0.82716 | 4.23798 | 3.73413 | 6.28765 | 14.25976 |
| c11 | p6 | -0.05671 | 0.91771 | -0.03008 | 7.95144 | 8.43860 | 3.15686 | 19.54689 |
| c12 | | -1.03190 | -0.73123 | -1.31994 | 7.71434 | 7.41220 | 2.41919 | 17.54573 |
| c13 | p7 | 0.16574 | -0.09526 | 0.94452 | 4.69146 | 1.77997 | 7.01107 | 13.48250 |
| c14 | | -0.65551 | -0.16854 | -1.62430 | 4.10509 | 1.77071 | 5.97020 | 11.84600 |
| c15 | p8 | 2.07249 | 1.32416 | -0.53603 | 4.05355 | 6.40557 | 2.76802 | 13.22713 |
| c16 | | 1.04530 | -1.53217 | 0.56738 | 3.58265 | 6.03738 | 3.63953 | 13.25956 |
| c17 | p9 | -0.78240 | 0.43071 | 0.21902 | 6.51681 | 4.70752 | 2.77257 | 13.99690 |
| c18 | | -1.40665 | 1.01239 | -1.08706 | 6.27381 | 4.94966 | 1.82799 | 13.05146 |
| c19 | p10 | 0.68526 | 1.52740 | 0.66787 | 3.96370 | 6.31178 | 3.32128 | 13.59675 |
| c20 | | 1.26730 | -0.02859 | -0.99716 | 4.30037 | 5.98458 | 3.14985 | 13.43480 |

3. Menghitung nilai fitness

Pada tahap ini akan dihitung nilai *fitness* dari setiap individu *parent* dan individu hasil *offspring* hal yang pertama dilakukan adalah menghitung total cost. Setelah itu menghitung nutrisi kemudian menghitung nilai *penalty* dan terakhir menghitung nilai *fitness*. Untuk menghitung biaya bahan dapat menggunakan Persamaan (7).

Tabel 3 Contoh perhitungan total harga p1

| P | Gen Kromosom | | | Total Gen | Total Cost |
|----|--------------|-----------|----------|-----------|------------|
| | T. Ikan | D. Gandum | Sorghu m | | |
| | 16000 | 5000 | 7000 | | |
| P1 | 8.16276 | 8.94391 | 6.78874 | 23.8954 | 83933 |

$$\begin{aligned} \text{harga tepung ikan} &= (\text{bobot bahan} \times \text{harga}) \\ &= \left(\left(\frac{8.16276}{23.89541} \right) \times 9 \right) \times 16000 \\ &= 49191 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{harga d. gandum} &= \text{bobot bahan} \times \text{harga} \\ &= \left(\left(\frac{8.94391}{23.89541} \right) \times 9 \right) \times 5000 \\ &= 16843 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{harga sorghum} &= (\text{bobot bahan} \times \text{harga}) \\ &= \left(\left(\frac{6.78874}{23.89541} \right) \times 9 \right) \times 7000 \\ &= 17898 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total cost} &= \text{harga tepung gandum} \times \text{harga} \\ &\text{dedak gandum} \times \text{harga sorghum} \\ &= 49191 + 16843 + 17898 \\ &= 83933 \end{aligned}$$

Hasil lengkap perhitungan total cost tiap individu dalam populasi awal pada Tabel 4 dan individu *offspring* pada Tabel 5

Tabel 4 Hasil perhitungan total cost parent

| P | Harga | | | Total cost |
|-----|----------|---------|---------|------------|
| | x1 | x2 | x3 | |
| | 16000/Kg | 5000/Kg | 7000/Kg | |
| p1 | 49191 | 16843 | 17898 | 83933 |
| p2 | 64104 | 9267 | 21981 | 95352 |
| p3 | 38326 | 16137 | 23641 | 78104 |
| p4 | 45742 | 19032 | 16343 | 81117 |
| p5 | 41655 | 12579 | 27165 | 81399 |
| p6 | 60347 | 18627 | 10521 | 89494 |
| p7 | 50682 | 6206 | 32138 | 89026 |
| p8 | 35667 | 22392 | 16046 | 74106 |
| p9 | 70345 | 14593 | 11794 | 96732 |
| p10 | 40100 | 21044 | 15995 | 77139 |

Tabel 5 Hasil perhitungan total cost offspring

| C(t) | P | Harga | | | Total cost |
|------|----|----------|---------|---------|------------|
| | | x1 | x2 | x3 | |
| | | 16000/Kg | 5000/Kg | 7000/Kg | |
| c1 | p1 | 48567 | 17743 | 16911 | 83221 |
| c2 | | 50928 | 16433 | 17713 | 85074 |
| c3 | p2 | 61735 | 9305 | 22963 | 94004 |
| c4 | | 57628 | 10844 | 22606 | 91078 |
| c5 | p3 | 38936 | 16729 | 22545 | 78210 |
| c6 | | 39714 | 16819 | 22079 | 78611 |
| c7 | p4 | 51065 | 19090 | 13934 | 84088 |
| c8 | | 40435 | 19428 | 18110 | 77974 |
| c9 | p5 | 45377 | 11560 | 26964 | 83900 |
| c10 | | 42797 | 11784 | 27779 | 82360 |
| c11 | p6 | 58577 | 19427 | 10175 | 88179 |
| c12 | | 63313 | 19010 | 8686 | 91009 |
| c13 | p7 | 50107 | 5941 | 32761 | 88809 |
| c14 | | 49901 | 6726 | 31751 | 88379 |
| c15 | p8 | 44130 | 21792 | 13184 | 79106 |
| c16 | | 38908 | 20490 | 17292 | 76690 |
| c17 | p9 | 67045 | 15135 | 12479 | 94659 |



| | | | | | |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| c18 | | 69221 | 17066 | 8824 | 95110 |
| c19 | p10 | 41979 | 20890 | 15389 | 78257 |
| c20 | | 46093 | 20045 | 14771 | 80909 |

setelah menghitung total cost yang dilakukan adalah menghitung total nilai yang terkandung

pada masing masing bahan. Untuk menghitung total nutrisi bahan bisa menggunakan persamaan (8). Contoh perhitungan total nutrisi yang terkandung pada setiap bahan pakan ikan

Tabel 6 Contoh Perhitungan Total Nutrisi

| P | Tepung Ikan | | | Dedak Gandum | | | Sorghum | | | Total gen | Total Nutrisi | | |
|----|-------------|-------|-------|--------------|-------|-------|---------|-------|--------|-----------|---------------|------|------|
| | P | L | S | P | L | S | P | L | S | | P | L | S |
| | 60.50% | 9.40% | 0.70% | 11.99% | 1.48% | 3.75% | 13.00 % | 2.05% | 13.50% | | | | |
| p1 | 8.16276 | | | 8.94391 | | | 6.78874 | | | 23.89541 | 2.60 | 0.39 | 0.49 |

Nutrisi Tepung Ikan

$$\begin{aligned} \text{protein} &= \left(\text{bobot bahan} \times \left(\frac{\text{nutrisi}}{100} \right) \right) \\ &= \left(\left(\frac{8.16276}{23.89541} \right) \times 9 \right) \times \left(\frac{60.5}{100} \right) \\ &= 1.86 \end{aligned}$$

Nutrisi Sorghum

$$\begin{aligned} \text{protein} &= \left(\text{bobot bahan} \times \left(\frac{\text{nutrisi}}{100} \right) \right) \\ &= \left(\left(\frac{6.78874}{23.89541} \right) \times 9 \right) \times \left(\frac{13}{100} \right) \\ &= 0.332 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total nutrisi protein p1} &= \text{protein tepung ikan} + \\ &\quad \text{protein dedak gandum} \\ &\quad + \text{protein sorghum} \\ &= 1.86 + 0.404 + 0.332 = 2.6 \end{aligned}$$

Nutrisi Dedak Gandum

$$\begin{aligned} \text{protein} &= \left(\text{bobot bahan} \times \left(\frac{\text{nutrisi}}{100} \right) \right) \\ &= \left(\left(\frac{8.94391}{23.89541} \right) \times 9 \right) \times \left(\frac{11.99}{100} \right) \\ &= 0.404 \end{aligned}$$

Untuk melihat hasil perhitungan total nutrisi secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 7 Total Nutrisi Parent

| Parent | Tepung Ikan | | | Dedak Gandum | | | Sorghum | | | Total Nutrisi | | |
|--------|-------------|-------|-------|--------------|-------|-------|---------|-------|--------|---------------|------|------|
| | P | L | S | P | L | S | P | L | S | P | L | S |
| | 60.50% | 9.40% | 0.70% | 11.99% | 1.48% | 3.75% | 13.00% | 2.05% | 13.50% | | | |
| p1 | 1.860 | 0.289 | 0.022 | 0.404 | 0.050 | 0.126 | 0.332 | 0.052 | 0.345 | 2.6 | 0.39 | 0.49 |
| p2 | 2.424 | 0.377 | 0.028 | 0.222 | 0.027 | 0.070 | 0.408 | 0.064 | 0.424 | 3.05 | 0.47 | 0.52 |
| p3 | 1.449 | 0.225 | 0.017 | 0.387 | 0.048 | 0.121 | 0.439 | 0.069 | 0.456 | 2.28 | 0.34 | 0.59 |
| p4 | 1.730 | 0.269 | 0.020 | 0.456 | 0.056 | 0.143 | 0.304 | 0.048 | 0.315 | 2.49 | 0.37 | 0.48 |
| p5 | 1.575 | 0.245 | 0.018 | 0.302 | 0.037 | 0.094 | 0.504 | 0.080 | 0.524 | 2.38 | 0.36 | 0.64 |
| p6 | 2.282 | 0.355 | 0.026 | 0.447 | 0.055 | 0.140 | 0.195 | 0.031 | 0.203 | 2.92 | 0.44 | 0.37 |
| p7 | 1.916 | 0.298 | 0.022 | 0.149 | 0.018 | 0.047 | 0.597 | 0.094 | 0.620 | 2.66 | 0.41 | 0.69 |
| p8 | 1.349 | 0.210 | 0.016 | 0.537 | 0.066 | 0.168 | 0.298 | 0.047 | 0.309 | 2.18 | 0.32 | 0.49 |
| p9 | 2.660 | 0.413 | 0.031 | 0.350 | 0.043 | 0.109 | 0.219 | 0.035 | 0.227 | 3.23 | 0.49 | 0.37 |
| p10 | 1.516 | 0.236 | 0.018 | 0.505 | 0.062 | 0.158 | 0.297 | 0.047 | 0.308 | 2.32 | 0.34 | 0.48 |

Tabel 8 Total Nutrisi Offspring

| C(t) | Tepung Ikan | | | Dedak Gandum | | | Sorghum | | | Total Nutrisi | | |
|------|-------------|-------|-------|--------------|-------|-------|---------|-------|--------|---------------|------|------|
| | P | L | S | P | L | S | P | L | S | P | L | S |
| | 60.50% | 9.40% | 0.70% | 11.99% | 1.48% | 3.75% | 13.00 % | 2.05% | 13.50% | | | |
| c1 | 1.836 | 0.285 | 0.021 | 0.425 | 0.053 | 0.133 | 0.314 | 0.050 | 0.326 | 2.58 | 0.39 | 0.48 |
| c2 | 1.926 | 0.299 | 0.022 | 0.394 | 0.049 | 0.123 | 0.329 | 0.052 | 0.342 | 2.65 | 0.4 | 0.49 |
| c3 | 2.334 | 0.363 | 0.027 | 0.223 | 0.028 | 0.070 | 0.426 | 0.067 | 0.443 | 2.98 | 0.46 | 0.54 |
| c4 | 2.179 | 0.339 | 0.025 | 0.260 | 0.032 | 0.081 | 0.420 | 0.066 | 0.436 | 2.86 | 0.44 | 0.54 |
| c5 | 1.472 | 0.229 | 0.017 | 0.401 | 0.050 | 0.125 | 0.419 | 0.066 | 0.435 | 2.29 | 0.34 | 0.58 |
| c6 | 1.502 | 0.233 | 0.017 | 0.403 | 0.050 | 0.126 | 0.410 | 0.065 | 0.426 | 2.32 | 0.35 | 0.57 |
| c7 | 1.931 | 0.300 | 0.022 | 0.458 | 0.057 | 0.143 | 0.259 | 0.041 | 0.269 | 2.65 | 0.4 | 0.43 |
| c8 | 1.529 | 0.238 | 0.018 | 0.466 | 0.058 | 0.146 | 0.336 | 0.053 | 0.349 | 2.33 | 0.35 | 0.51 |
| c9 | 1.716 | 0.267 | 0.020 | 0.277 | 0.034 | 0.087 | 0.501 | 0.079 | 0.520 | 2.49 | 0.38 | 0.63 |
| c10 | 1.618 | 0.251 | 0.019 | 0.283 | 0.035 | 0.088 | 0.516 | 0.081 | 0.536 | 2.42 | 0.37 | 0.64 |
| c11 | 2.215 | 0.344 | 0.026 | 0.466 | 0.058 | 0.146 | 0.189 | 0.030 | 0.196 | 2.87 | 0.43 | 0.37 |
| c12 | 2.394 | 0.372 | 0.028 | 0.456 | 0.056 | 0.143 | 0.161 | 0.025 | 0.168 | 3.01 | 0.45 | 0.34 |
| c13 | 1.895 | 0.294 | 0.022 | 0.142 | 0.018 | 0.045 | 0.608 | 0.096 | 0.632 | 2.65 | 0.41 | 0.70 |
| c14 | 1.887 | 0.293 | 0.022 | 0.161 | 0.020 | 0.050 | 0.590 | 0.093 | 0.612 | 2.64 | 0.41 | 0.68 |
| c15 | 1.669 | 0.259 | 0.019 | 0.523 | 0.065 | 0.163 | 0.245 | 0.039 | 0.254 | 2.44 | 0.36 | 0.44 |
| c16 | 1.471 | 0.229 | 0.017 | 0.491 | 0.061 | 0.154 | 0.321 | 0.051 | 0.333 | 2.28 | 0.34 | 0.50 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| c17 | 2.535 | 0.394 | 0.029 | 0.363 | 0.045 | 0.114 | 0.232 | 0.037 | 0.241 | 3.13 | 0.48 | 0.38 |
| c18 | 2.617 | 0.407 | 0.030 | 0.409 | 0.051 | 0.128 | 0.164 | 0.026 | 0.170 | 3.19 | 0.48 | 0.33 |
| c19 | 1.587 | 0.247 | 0.018 | 0.501 | 0.062 | 0.157 | 0.286 | 0.045 | 0.297 | 2.37 | 0.35 | 0.47 |
| c20 | 1.743 | 0.271 | 0.020 | 0.481 | 0.059 | 0.150 | 0.274 | 0.043 | 0.285 | 2.50 | 0.37 | 0.46 |

Setelah selesai menghitung total nutrisi sekarang menghitung nilai *penalty*. Untuk menghitung total *penalty* yang dilakukan adalah menghitung kebutuhan nutrisi. Dari data yang diketahui nutrisi yang dibutuhkan adalah protein 20%, Lemak, 8% dan serat 4%. Contoh perhitungan mencari jumlah nutrisi protein , lemak, serat yang dibutuhkan dalam 9Kg.

$$\begin{aligned} \text{protein} &= ((\text{nutrisi yang dibutuhkan} / 100) \times \text{jumlah pakan}) \\ &= ((20/100) \times 9) \\ &= 1.8 \\ \text{lemak} &= ((\text{nutrisi yang dibutuhkan} / 100) \times \text{jumlah pakan}) \\ &= ((8/100) \times 9) \\ &= 0.72 \\ \text{serat} &= ((\text{nutrisi yang dibutuhkan} / 100) \times \text{jumlah pakan}) \\ &= ((4/100) \times 9) \\ &= 0.36 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kebutuhan nutrisi ditunjukkan pada Tabel 4.10 . setelah selesai menghitung kebutuhan nutrisi, yang dilakukan adalah menghitung total *penalty*. Nilai total *penalty* dihitung setiap individu. Contoh perhitungan nilai *penalty* pada individu p1

$$\begin{aligned} \text{Penalty protein} &= |\text{total nutrisi protein yang dibutuhkan} - \text{total nutrisi protein yang tersedia}| \\ &= |1.8 - 2.6| = 0.80 \\ \text{Penalty lemak} &= |\text{total nutrisi lemak yang dibutuhkan} - \text{total nutrisi lemak yang tersedia}| \\ &= |0.72 - 0.39| = 0.33 \\ \text{Penalty serat} &= |\text{total nutrisi serat yang dibutuhkan} - \text{total nutrisi serat yang tersedia}| \\ &= |0.36 - 0.49| = 0.13 \\ \text{Total penalty} &= \text{penalt protein} + \text{penalty lemak} + \text{penalty serat} \\ &= 0.80 + 0.33 + 0.13 \\ &= 1.26 \end{aligned}$$

Hasil lengkap perhitungan *penalty* terdapat pada Tabel 4.9 dan 4.10.

Tabel 9 Perhitungan Penalty Parent

| Parent | Kebutuhan | | | Tersedia | | | <i>penalty</i> | | | Total <i>Penalty</i> |
|--------|-----------|------|------|----------|------|------|----------------|------|------|----------------------|
| | P | L | S | P | L | S | P | L | S | |
| p1 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.60 | 0.39 | 0.49 | 0.80 | 0.33 | 0.13 | 1.26 |
| p2 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 3.05 | 0.47 | 0.52 | 1.25 | 0.25 | 0.16 | 1.67 |
| p3 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.28 | 0.34 | 0.59 | 0.48 | 0.38 | 0.23 | 1.09 |
| p4 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.49 | 0.37 | 0.48 | 0.69 | 0.35 | 0.12 | 1.15 |
| p5 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.38 | 0.36 | 0.64 | 0.58 | 0.36 | 0.28 | 1.22 |
| p6 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.92 | 0.44 | 0.37 | 1.12 | 0.28 | 0.01 | 1.41 |
| p7 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.66 | 0.41 | 0.69 | 0.86 | 0.31 | 0.33 | 1.50 |
| p8 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.18 | 0.32 | 0.49 | 0.38 | 0.40 | 0.13 | 0.91 |
| p9 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 3.23 | 0.49 | 0.37 | 1.43 | 0.23 | 0.01 | 1.67 |
| p10 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.32 | 0.34 | 0.48 | 0.52 | 0.38 | 0.12 | 1.02 |

Tabel 10 Perhitungan Penalty Offspring

| C(t) | Kebutuhan | | | Tersedia | | | <i>penalty</i> | | | Total <i>Penalty</i> |
|------|-----------|------|------|----------|------|------|----------------|------|------|----------------------|
| | P | L | S | P | L | S | P | L | S | |
| c1 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.58 | 0.39 | 0.48 | 0.78 | 0.33 | 0.12 | 1.23 |
| c2 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.65 | 0.40 | 0.49 | 0.85 | 0.32 | 0.13 | 1.30 |
| c3 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.98 | 0.46 | 0.54 | 1.18 | 0.26 | 0.18 | 1.63 |
| c4 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.86 | 0.44 | 0.54 | 1.06 | 0.28 | 0.18 | 1.52 |
| c5 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.29 | 0.34 | 0.58 | 0.49 | 0.38 | 0.22 | 1.09 |
| c6 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.32 | 0.35 | 0.57 | 0.52 | 0.37 | 0.21 | 1.10 |
| c7 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.65 | 0.40 | 0.43 | 0.85 | 0.32 | 0.07 | 1.24 |
| c8 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.33 | 0.35 | 0.51 | 0.53 | 0.37 | 0.15 | 1.06 |
| c9 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.49 | 0.38 | 0.63 | 0.69 | 0.34 | 0.27 | 1.30 |
| c10 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.42 | 0.37 | 0.64 | 0.62 | 0.35 | 0.28 | 1.25 |
| c11 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.87 | 0.43 | 0.37 | 1.07 | 0.29 | 0.01 | 1.37 |
| c12 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 3.01 | 0.45 | 0.34 | 1.21 | 0.27 | 0.02 | 1.50 |
| c13 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.65 | 0.41 | 0.70 | 0.85 | 0.31 | 0.34 | 1.50 |
| c14 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.64 | 0.41 | 0.68 | 0.84 | 0.31 | 0.32 | 1.48 |
| c15 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.44 | 0.36 | 0.44 | 0.64 | 0.36 | 0.08 | 1.07 |
| c16 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.28 | 0.34 | 0.50 | 0.48 | 0.38 | 0.14 | 1.01 |



| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| c17 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 3.13 | 0.48 | 0.38 | 1.33 | 0.24 | 0.02 | 1.60 |
| c18 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 3.19 | 0.48 | 0.33 | 1.39 | 0.24 | 0.03 | 1.66 |
| c19 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.37 | 0.35 | 0.47 | 0.57 | 0.37 | 0.11 | 1.05 |
| c20 | 1.8 | 0.72 | 0.36 | 2.50 | 0.37 | 0.46 | 0.70 | 0.35 | 0.10 | 1.14 |

setelah selesai menghitung *penalty* maka selanjutnya menghitung nilai *fitness* nilai Contoh perhitungan nilai *fitness* pada individu p1

$$fitness\ p1 = \frac{10000}{\frac{total\ cost + (total\ penalty \times 10000)}{10000}} = \frac{10000}{83933 + (1.26 \times 10000)} = 0.10361$$

fitness dihitung setiap individu. Hasil perhitungan nilai *fitness* setiap individu pada populasi awal dan *offspring* dapat dilihat setiap individu ditunjukkan pada Tabel 11 dan 10.

Tabel 11 Hasil perhitungan nilai *fitness* parent

| Parent | Kromosom | | | σ_1 | σ_2 | σ_3 | Total cost | total <i>penalty</i> | fitness |
|--------|----------|---------|---------|------------|------------|------------|------------|----------------------|---------|
| | x1 | x2 | X3 | | | | | | |
| 1 | 8.16276 | 8.94391 | 6.78874 | 0.01790 | 0.63646 | 0.22619 | 83933 | 1.26 | 0.10361 |
| 2 | 5.20865 | 2.40946 | 4.08231 | 0.69017 | 0.16930 | 0.46805 | 95352 | 1.67 | 0.08926 |
| 3 | 4.69300 | 6.32285 | 6.61674 | 0.50272 | 0.56918 | 0.40372 | 78104 | 1.09 | 0.11240 |
| 4 | 5.02396 | 6.68918 | 4.10275 | 0.51609 | 0.66797 | 0.91523 | 81117 | 1.15 | 0.10792 |
| 5 | 4.61644 | 4.46120 | 6.88136 | 0.54456 | 0.93337 | 0.71777 | 81399 | 1.22 | 0.10688 |
| 6 | 7.96523 | 7.86736 | 3.17406 | 0.24313 | 0.62246 | 0.57190 | 89494 | 1.41 | 0.09651 |
| 7 | 4.57312 | 1.79200 | 6.62836 | 0.71401 | 0.12630 | 0.40519 | 89026 | 1.50 | 0.09613 |
| 8 | 3.10345 | 6.23488 | 3.19139 | 0.45843 | 0.12890 | 0.78984 | 74106 | 0.91 | 0.12013 |
| 9 | 6.82137 | 4.52822 | 2.61417 | 0.38927 | 0.41628 | 0.72322 | 96732 | 1.67 | 0.08819 |
| 10 | 3.56733 | 5.99060 | 3.25251 | 0.57843 | 0.21028 | 0.10296 | 77139 | 1.02 | 0.11453 |

Tabel 12 Hasil perhitungan nilai *fitness* offspring

| C(t) | Parent | x1' | x2' | X3' | σ_1' | σ_2' | σ_3' | total cost | total <i>penalty</i> | <i>fitness</i> |
|------|--------|---------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|------------|----------------------|----------------|
| c1 | p1 | 8.15575 | 9.53478 | 6.49115 | 0.01969 | 0.70010 | 0.24881 | 83221 | 1.23 | 0.10470 |
| c2 | p1 | 8.15861 | 8.42423 | 6.48579 | 0.01611 | 0.57281 | 0.20357 | 85074 | 1.30 | 0.10200 |
| c3 | p2 | 5.02697 | 2.42464 | 4.27397 | 0.75919 | 0.18623 | 0.51486 | 94004 | 1.63 | 0.09069 |
| c4 | p2 | 4.58843 | 2.76293 | 4.11409 | 0.75919 | 0.18623 | 0.51486 | 91078 | 1.52 | 0.09405 |
| c5 | p3 | 4.75916 | 6.54342 | 6.29870 | 0.45245 | 0.51226 | 0.36335 | 78210 | 1.09 | 0.11228 |
| c6 | p3 | 5.11107 | 6.92664 | 6.49487 | 0.45245 | 0.51226 | 0.36335 | 78611 | 1.10 | 0.11164 |
| c7 | p4 | 5.27619 | 6.31163 | 3.29068 | 0.46448 | 0.60118 | 0.82370 | 84088 | 1.24 | 0.10359 |
| c8 | p4 | 4.50683 | 6.92936 | 4.61377 | 0.56770 | 0.73477 | 1.00675 | 77974 | 1.06 | 0.11295 |
| c9 | p5 | 4.84682 | 3.95128 | 6.58304 | 0.49010 | 0.84003 | 0.64600 | 83900 | 1.30 | 0.10319 |
| c10 | p5 | 4.23798 | 3.73413 | 6.28765 | 0.49010 | 0.84003 | 0.64600 | 82360 | 1.25 | 0.10540 |
| c11 | p6 | 7.95144 | 8.43860 | 3.15686 | 0.26745 | 0.68470 | 0.62909 | 88179 | 1.37 | 0.09820 |
| c12 | p6 | 7.71434 | 7.41220 | 2.41919 | 0.21882 | 0.56021 | 0.51471 | 91009 | 1.50 | 0.09433 |
| c13 | p7 | 4.69146 | 1.77997 | 7.01107 | 0.78541 | 0.13894 | 0.44571 | 88809 | 1.50 | 0.09637 |
| c14 | p7 | 4.10509 | 1.77071 | 5.97020 | 0.78541 | 0.13894 | 0.44571 | 88379 | 1.48 | 0.09695 |
| c15 | p8 | 4.05355 | 6.40557 | 2.76802 | 0.41259 | 0.11601 | 0.71085 | 79106 | 1.07 | 0.11134 |
| c16 | p8 | 3.58265 | 6.03738 | 3.63953 | 0.41259 | 0.11601 | 0.71085 | 76690 | 1.01 | 0.11525 |
| c17 | p9 | 6.51681 | 4.70752 | 2.77257 | 0.42819 | 0.45791 | 0.79554 | 94659 | 1.60 | 0.09038 |
| c18 | p9 | 6.27381 | 4.94966 | 1.82799 | 0.42819 | 0.45791 | 0.79554 | 95110 | 1.66 | 0.08953 |
| c19 | p10 | 3.96370 | 6.31178 | 3.32128 | 0.52058 | 0.18925 | 0.09266 | 78257 | 1.05 | 0.11264 |
| c20 | p10 | 4.30037 | 5.98458 | 3.14985 | 0.52058 | 0.18925 | 0.09266 | 80909 | 1.14 | 0.10833 |

4. Proses seleksi

Tahap ini merupakan tahapan terakhir dari algoritma *evolution strategies*. dalam tahapan ini yang diambil adalah nilai *fitness* tertinggi dari

populasi gabungan antara *parent* dan *offspring*. Hasil seleksi yang menghasilkan 10 individu ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13 hasil seleksi

| P(t+1) | parent | x1 | x2 | X3 | σ_1 | σ_2 | σ_3 | <i>fitness</i> | total gen |
|--------|--------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|----------------|-----------|
| p1 | p8 | 3.10345 | 6.23488 | 3.19139 | 0.45843 | 0.12890 | 0.78984 | 0.12013 | 12.52973 |
| p2 | c16 | 3.58265 | 6.03738 | 3.63953 | 0.41259 | 0.11601 | 0.71085 | 0.11525 | 13.25957 |
| p3 | p10 | 3.56733 | 5.99060 | 3.25251 | 0.57843 | 0.21028 | 0.10296 | 0.11453 | 12.81044 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| p4 | c8 | 4.50683 | 6.92936 | 4.61377 | 0.56770 | 0.73477 | 1.00675 | 0.11295 | 16.04995 |
| p5 | c19 | 3.96370 | 6.31178 | 3.32128 | 0.52058 | 0.18925 | 0.09266 | 0.11264 | 13.59675 |
| p6 | p3 | 4.69300 | 6.32285 | 6.61674 | 0.50272 | 0.56918 | 0.40372 | 0.11240 | 17.63259 |
| p7 | c5 | 4.75916 | 6.54342 | 6.29870 | 0.45245 | 0.51226 | 0.36335 | 0.11228 | 17.60129 |
| p8 | c6 | 5.11107 | 6.92664 | 6.49487 | 0.45245 | 0.51226 | 0.36335 | 0.11164 | 18.53258 |
| p9 | c15 | 4.05355 | 6.40557 | 2.76802 | 0.41259 | 0.11601 | 0.71085 | 0.11134 | 13.22713 |
| p10 | c20 | 4.30037 | 5.98458 | 3.14985 | 0.52058 | 0.18925 | 0.09266 | 0.10833 | 13.43480 |

Pada contoh perhitungan manual pada penelitian ini nilai *fitness* yang tertinggi adalah p1. Sehingga p1 adalah individu yang terbaik di generasinya ke 1. Individu hasil dari proses ini akan digunakan pada generasi selanjutnya.

Hasil Rekomendasi Komposisi Pakan

Pada pakan ikan bandeng membutuhkan pakan ikan sebanyak 9kg. komposisi pakan yang dihasilkan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Tepung ikan} &= \left(\left(\frac{3.10345}{12.52973} \right) \times 9 \right) \\ &= 2.22918 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dedak gandum} &= \left(\left(\frac{6.23488}{12.52973} \right) \times 9 \right) \\ &= 4.47846 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sorghum} &= \left(\left(\frac{3.19139}{12.52973} \right) \times 9 \right) \\ &= 2.29235 \text{ Kg} \end{aligned}$$

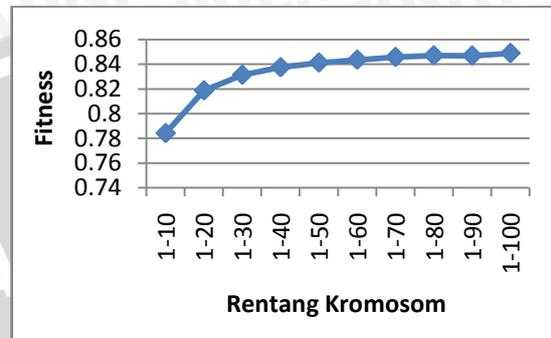
$$\begin{aligned} \text{Total Harga} &= (2.22918 * 16000) + (4.47846 * \\ &5000) + (2.29235 * 7000) \\ &= 74105 \end{aligned}$$

5. HASIL DAN PEMAHASAN

Berikut ini akan ditampilkan hasil pengujian berdasarkan pengujian yang telah dilakukan yang sesuai dengan perancangan uji coba.

Hasil Uji Coba Rentang Kromosom

Uji coba rentang kromosom dilakukan terhadap sistem untuk mengetahui rentang kromosom yang akan menghasilkan solusi paling optimal untuk permasalahan komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang menggunakan algoritma *evolution strategies*. Uji coba dilakukan pada jumlah ikan bandeng dengan usia 22 minggu dan berat 0.6 Kg dengan jumlah ikan yang digunakan adalah 100. Uji coba dilakukan 10 kali menggunakan rentang kromosom berturut-turut adalah 1-10, 1-20, 1-30, 1-40, 1-50, 1-60, 1-70, 1-80, 1-90, 1-100, ukuran populasi 50, *offspring* 4 μ , generasi 500 dan menggunakan siklus ES ($\mu+\lambda$). Hasil uji dibuat grafik untuk melihat pengaruh rentang kromosom terhadap nilai *fitness* yang didapatkan. Grafik hasil uji coba rentang kromosom ditunjukkan pada Gambar 5

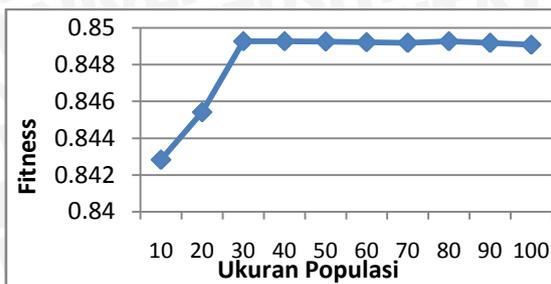


Gambar 5 Hasil Uji Coba Rentang Kromosom

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa rentang kromosom berpengaruh terhadap hasil *fitness* algoritma *evolution strategies*. Nilai *fitness* tertinggi saat rentang kromosom 1-100. Nilai *fitness* terendah terjadi saat rentang kromosom 1-10. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar rentang kromosom maka nilai *fitness* yang dihasilkan semakin besar, tetapi semakin kecil rentang kromosom menghasilkan nilai *fitness* semakin kecil. Hal itu terjadi karena semakin besar rentang kromosom maka variasi dari individu yang terbentuk lebih beragam sehingga peluang untuk mendapatkan nilai *fitness* yang tertinggi semakin besar.

Hasil Uji Coba Ukuran Populasi

Uji coba ukuran populasi dilakukan terhadap sistem untuk mengetahui ukuran populasi yang akan menghasilkan solusi paling optimal untuk permasalahan komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang menggunakan algoritma *evolution strategies*. Uji coba dilakukan pada jumlah ikan bandeng dengan usia 22 minggu dan berat 0.6 Kg dengan jumlah ikan yang digunakan adalah 100. Uji coba dilakukan 10 kali menggunakan rentang kromosom 1-100, ukuran populasi berturut-turut adalah 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 dan 100 *offspring* 4 μ , jumlah generasi 500 dan menggunakan siklus ES ($\mu+\lambda$). Hasil uji coba dibuat grafik untuk melihat pengaruh ukuran populasi terhadap nilai *fitness* yang didapatkan. Grafik hasil uji coba ukuran populasi ditunjukkan pada Gambar 6

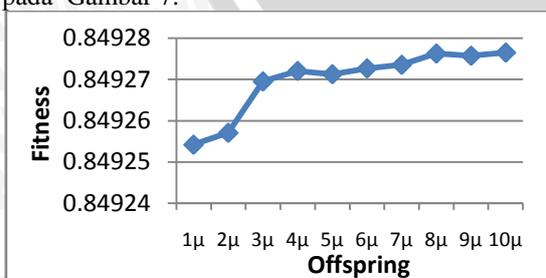


Gambar 6 Grafik Hasil Uji Coba Ukuran Populasi

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 nilai *fitness* tertinggi saat jumlah populasi 30 dan nilai *fitness* terendah saat populasi 10. Hal itu menunjukkan bahwa semakin besar jumlah populasi maka nilai *fitness* semakin tinggi. Nilai *fitness* semakin besar karena jumlah dan keberagaman individu yang dihasilkan lebih banyak sehingga peluang untuk menghasilkan nilai *fitness* yang besar semakin besar. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa pada saat populasi 30 sampai dengan populasi 100 terjadi konvergensi. Konvergensi dapat terjadi karena nilai kromosom dari individu *offspring* yang dihasilkan dan individu *parent* mirip. Jumlah populasi juga mempengaruhi waktu eksekusi program, semakin besar jumlah populasi maka semakin lama eksekusi program.

Hasil Uji Coba Ukuran *Offspring*

Uji coba ukuran *offspring* dilakukan terhadap sistem untuk mengetahui ukuran *offspring* yang akan menghasilkan solusi paling optimal untuk permasalahan komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang menggunakan algoritma *evolution strategies*. Uji coba dilakukan pada jumlah ikan bandeng dengan usia 22 minggu dan berat 0.6 Kg dengan jumlah ikan yang digunakan adalah 100. Uji coba dilakukan 10 kali menggunakan rentang kromosom 1-100, populasi 50, *offspring* yang digunakan berturut-turut 1μ , 2μ , 3μ , 4μ , 5μ , 6μ , 7μ , 8μ , 9μ , 10μ , jumlah generasi generasi 500 dan menggunakan siklus ES ($\mu+\lambda$). Hasil uji dibuat grafik untuk melihat pengaruh ukuran *offspring* terhadap nilai *fitness* yang didapatkan. Grafik hasil uji coba ukuran *offspring* ditunjukkan pada Gambar 7.

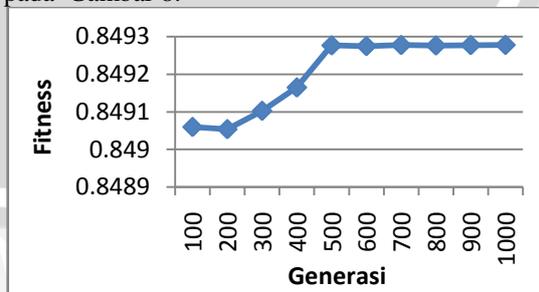


Gambar 7 Grafik Hasil Uji Coba Ukuran *Offspring*

Berdasarkan grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai *fitness* terbesar saat ukuran *offspring* 8μ . Nilai *fitness* terendah terjadi saat ukuran *offspring* 1μ . Hal itu menunjukkan bahwa semakin tinggi ukuran *offspring* maka cenderung semakin tinggi nilai *fitness* yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai *fitness* karena jumlah individu yang dihasilkan saat proses mutasi semakin banyak dan memungkinkan keberagaman individu sangat tinggi. Tetapi, tidak semua ukuran *offspring* yang tinggi menghasilkan nilai *fitness* yang tinggi seperti pada ukuran *offspring* 5μ lebih rendah dari pada ukuran *offspring* 4μ dan ukuran *offspring* 9μ lebih rendah dari pada ukuran *offspring* 10μ . Hal itu terjadi karena dalam pembentukan individu *offspring* dihasilkan dipengaruhi oleh individu awal dan nilai sigma. Nilai individu awal dalam proses algoritma *evolution strategies* dibangkitkan secara acak dan nilai sigma dibangkitkan secara acak dengan rentang yang sempit yaitu $[0,1]$. Semakin besar ukuran *offspring* juga dapat membuat waktu eksekusi program semakin lama.

Hasil Uji Coba Jumlah Generasi

Uji coba jumlah generasi dilakukan terhadap sistem untuk mengetahui jumlah generasi yang akan menghasilkan solusi paling optimal untuk permasalahan komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang menggunakan algoritma *evolution strategies*. Uji coba dilakukan pada jumlah ikan bandeng dengan usia 22 minggu dan berat 0.6 Kg dengan jumlah ikan yang digunakan adalah 100. Uji coba dilakukan 10 kali menggunakan rentang kromosom 1-100, ukuran populasi 50, *offspring* 5μ dan generasi yang digunakan berturut-turut yang digunakan 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 dan menggunakan siklus ES ($\mu+\lambda$). Dari data hasil uji coba jumlah generasi dibuat grafik untuk melihat pengaruh jumlah generasi terhadap nilai *fitness* yang didapatkan. Grafik hasil uji coba jumlah generasi ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Hasil Uji Coba Jumlah Generasi

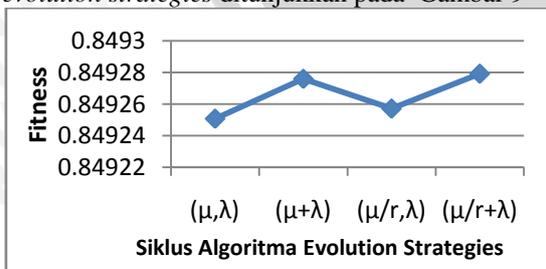
Berdasarkan grafik pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa jumlah generasi mempengaruhi hasil *fitness* yang diperoleh. Nilai *fitness* tertinggi

terjadi saat jumlah generasi 500, dan nilai *fitness* terendah saat generasi ke 200. Grafik pada Gambar 8 cenderung menunjukkan peningkatan nilai *fitness*. Peningkatan nilai *fitness* terjadi karena semakin banyak jumlah generasi maka proses mutasi akan sering dilakukan sehingga dalam proses seleksi dapat mendapatkan individu yang memiliki nilai *fitness* yang terbaik. Hal itu terjadi karena individu-individu yang terbentuk dari proses mutasi lebih bervariasi sehingga terdapat peluang untuk menghasilkan individu-individu baru yang memiliki *fitness* yang terbaik. Akan tetapi tidak semua jumlah generasi yang banyak dapat menghasilkan nilai *fitness* yang tinggi seperti saat jumlah generasi 200 nilai *fitness*nya lebih rendah dari pada nilai *fitness* dengan jumlah generasi 100. Hal tersebut terjadi karena konsep dari algoritma *evolution strategies* dalam pembentukan individu awal dan nilai sigma dibentuk secara acak.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa pada saat generasi 500 sampai dengan generasi 1000 terjadi konvergensi. Konvergensi dapat terjadi karena nilai kromosom dari individu *offspring* yang dihasilkan dan individu *parent* mirip. Jumlah generasi juga mempengaruhi waktu eksekusi program. Semakin banyak jumlah generasi maka waktu eksekusi program semakin lama.

Hasil Uji Coba Siklus Algoritma Evolution Strategies

Uji coba siklus algoritma *evolution strategies* dilakukan terhadap sistem untuk mengetahui tahapan siklus yang akan menghasilkan solusi paling optimal untuk permasalahan komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang menggunakan algoritma *evolution strategies*. Uji coba dilakukan pada jumlah ikan bandeng dengan usia 22 minggu dan berat 0.6 Kg dengan jumlah ikan yang digunakan adalah 100. Uji coba dilakukan 10 kali menggunakan rentang kromosom 1-100, ukuran poulasi 30, *offspring* 8μ, dan jumlah generasi 500. Hasil uji coba dibuat grafik untuk melihat pengaruh tipe algoritma *evolution strategies* terhadap nilai *fitness* yang didapatkan. Grafik hasil uji coba tipe algoritma *evolution strategies* ditunjukkan pada Gambar 9



Gambar 9 Hasil Uji Coa Tipe Algoritma Evolution Strategies

Berdasarkan grafik pada Gambar 6.5 menunjukkan bahwa siklus dari algoritma *evolution strategies* mempengaruhi jumlah *fitness* yang dihasilkan. *Fitness* terbaik terjadi saat menggunakan siklus ES (μ/r+λ) dan nilai *fitness* yang terendah saat siklus ES (μ,λ). Hal itu terjadi karena dalam proses reproduksi tipe (μ/r+λ) melibatkan proses rekombinasi dan mutasi sedangkan Siklus ES (μ,λ) hanya melibatkan proses mutasi. Proses rekombinasi akan menghasilkan individu *offspring* dari kombinasi individu *parent*. Proses mutasi akan menghasilkan individu *offspring* dari perubahan kromosom.

Siklus ES (μ/r+λ) menghasilkan nilai *fitness* terbaik karena siklus ES (μ/r+λ) juga melibatkan individu awal dan individu *offspring* dalam proses seleksi sedangkan tipe (μ,λ) hanya melibatkan individu *offspring*. Pada siklus ES (μ/r,λ) lebih rendah dibandingkan siklus ES (μ+λ) dan (μ/r+λ) karena dalam proses seleksi hanya melibatkan individu *offspring*.

Hasil Uji Coba Persamaan Fitness

Uji coba persamaan fitness dilakukan terhadap sistem untuk mengetahui persamaan fitness yang akan menghasilkan komposisi bahan pakan yang layak digunakan. Uji coba dilakukan pada jumlah ikan bandeng dengan usia 22 minggu dan berat 0.6Kg dengan jumlah ikan yang digunakan adalah 100. Uji coba persamaan fitness dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan rentang kromosom 1-100, ukuran poulasi 30, *offspring* 8μ, dan jumlah generasi 500 dan siklus yang digunakan (μ/r+λ). Persamaan *fitness* yang digunakan ada 5 yaitu :

1. Persamaan A

$$Fitness = \frac{10000}{total\ harga + penalty} \quad (11)$$

Persamaan A dilakukan pengujian karena pada persamaan A terdapat fungsi yang diminimalkan yaitu total harga dan *penalty*..

2. Persamaan B

$$Fitness = \frac{10000}{total\ harga + (penalty \times 10000)} \quad (12)$$

Persamaan B dilakukan pengujian karena persamaan B terdapat pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Milah (2015) yang meminimalkan fungsi total harga dan *penalty* serta terdapat pengali 10000. Pengali 10000 digunakan agar rentang total harga dan *penalty* sama.

3. Persamaan C

$$Fitness = \frac{10000}{(total\ harga \times \alpha) + (penalty \times 10000 \times \beta)} \quad (13)$$

Persamaan C dilakukan pengujian karena persamaan C terdapat pembobotan untuk tingkat prioritas fungsi yang diminimalkan. α dan β adalah bilangan bobot dari tingkat prioritas. Pada penelitian ini untuk α adalah 0.7 dan β adalah 0.3.

4. Persamaan D

$$Fitness = \frac{10000}{total\ harga} + \frac{10000}{penalty \times 10000 + c} \quad (14)$$

Persamaan D dilakukan pengujian karena persamaan D membedakan fungsi untuk total harga dan *penalty* walaupun total harga dan *penalty* merupakan fungsi yang akan diminimalkan. Untuk mendapatkan *fitness* individu dengan cara menamahkan *fitness* total harga dan *fitness penalty*. Untuk mencari *fitness penalty* di tambah dengan c. c adalah bilangan konstanta yang mendekati dengan bilangan 0. pada penelitian ini c yang digunakan adalah 0.01. Tujuan penamahan 0.01 agar jika nilai *penalty*

sama dengan 0 maka hasil perhitungan *fitness* dari *penalty* tidak mendapatkan hasil tak hingga.

5. Persamaan E

$$Fitness = \frac{10000}{total\ harga * \alpha} + \frac{10000}{penalty \times 10000 * \beta + c} \quad (15)$$

Pada persamaan E mirip dengan persamaan D tetapi pada persamaan E terdapat pembobotan untuk tingkat prioritas fungsi yang diminimalkan. Pada penelitian ini α yang digunakan 0.7, β yang digunakan 0.3, dan c yang digunakan adalah 0.01. Hasil uji coba persamaan *fitness* terhadap kombinasi bahan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14 Hasil Uji Coba Persamaan *fitness*

| Persamaan | Nilai <i>fitness</i> | | | | | | | | | | Rata-rata <i>Fitness</i> | |
|-----------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|--------|
| | Percobaan ke-i | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| A | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 | 1.084 |
| B | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 | 0.862 |
| C | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 | 1.395 |
| D | 14.085 | 14.085 | 14.085 | 14.085 | 14.085 | 14.086 | 14.085 | 14.085 | 14.085 | 14.085 | 14.085 | 14.085 |
| E | 45.428 | 45.429 | 45.427 | 45.429 | 45.426 | 45.425 | 45.426 | 45.428 | 45.428 | 45.428 | 45.428 | 45.428 |

Dari data hasil uji persamaan *fitness* pada Tabel 14 diperoleh rekomendasi komposisi bahan pakan sistem polikultur ikan dan udang. Rekomendasi komposisi bahan pakan ditunjukkan pada Tabel 15

Tabel 15 Rekomendasi Komposisi Pakan

| Persamaan | Bahan Pakan | | | Harga |
|-----------|-------------|--------------|----------------|-------|
| | Tepung Ikan | Dedak Gandum | Tepung Kedelai | |
| A | 0.0177 | 1.7643 | 0.0181 | 9230 |
| B | 0.0177 | 1.7643 | 0.0181 | 9230 |
| C | 0.0177 | 1.7643 | 0.0181 | 9230 |
| D | 0.2943 | 1.3674 | 0.1383 | 12514 |
| E | 0.2943 | 1.3674 | 0.1382 | 12514 |

Tabel 15 menunjukkan rekomendasi komposisi bahan pakan yang diperoleh dari perhitungan setiap persamaan *fitness* oleh sistem. Setelah mendapatkan rekomendasi komposisi bahan selanjutnya adalah menghitung nutrisi dari komposisi bahan yang direkomendasikan oleh sistem. Perhitungan nutrisi dilakukan dengan cara metode yang digunakan pakar. Nutrisi yang tersedia dari bahan tersebut dibandingkan dengan nutrisi yang di butuhkan oleh ikan. Tabel perbandingan nutrisi yang tersedia dengan nutrisi yang diutuhkan ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16 Perbandingan Nutrisi

| Persamaan | Kandungan Nutrisi Yang Tersedia % | | | Kandungan Nutrisi Yang Dibutuhkan % | | | Harga |
|-----------|-----------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------------|-------|
| | Protein | Lemak | Serat | Protein | Lemak | Serat (max) | |
| A | 12.48 | 1.56 | 3.82 | 20 | 7-8 | 4 | 9230 |
| B | 12.48 | 1.56 | 3.82 | 20 | 7-8 | 4 | 9230 |
| C | 12.48 | 1.56 | 3.82 | 20 | 7-8 | 4 | 9230 |
| D | 20 | 2.82 | 4 | 20 | 7-8 | 4 | 12514 |
| E | 20 | 2.82 | 4 | 20 | 7-8 | 4 | 12514 |

Berdasarkan perbandingan nutrisi yang tersedia dan dibutuhkan pada Tabel 16 diketahui bahwa rekomendasi komposisi bahan pakan menggunakan persamaan D dan E mendekati layak untuk digunakan. Hal itu ditunjukkan dari perbandingan nutrisi protein yang tersedia yaitu 20 % dan yang di butuhkan adalah 20% sehingga kebutuhan protein mencukupi, kebutuhan serat juga mencukupi karena yang tersedia adalah 4% dan yang dibutuhkan maksimal 4%. Tetapi, untuk nutrisi lemak memiliki perbedaan yang jauh antara nutrisi yang dibutuhkan dengan nutrisi yang tersedia. Hal ini terjadi karena pemilihan kombinasi bahan pakan tidak tepat. Pada Persamaan A, B dan C rekomendasi komposisi pakan tidak layak digunakan karena nutrisi yang tersedia yaitu protein dan lemak memiliki perbedaan yang jauh dari nutrisi yang dibutuhkan walaupun nutrisi serat yang tersedia mencukupi kebutuhan. Dari analisis kelayakan rekomendasi komposisi pakan persamaan *fitness* D dan persamaan *fitness* E yang mampu memberikan solusi terbaik.

Dari nilai *fitness* yang dihasilkan pada Tabel 15 persamaan E dapat menghasilkan nilai *fitness* yang tertinggi. Nilai *fitness* digunakan sebagai nilai untuk membandingkan solusi yang terbaik antara individu-individu yang ada. Jika dilihat dari kualitas solusi dan nilai *fitness* maka persamaan E lebih tepat untuk digunakan pada permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini. Hal itu terjadi karena pada persamaan E terdapat bobot yang membedakan tingkat prioritas dari nilai yang akan diminimalkan.

Untuk membuktikan bahwa persamaan E adalah persamaan yang terbaik untuk

permasalahan dalam penelitian ini maka persamaan *fitness* E akan digunakan untuk merekomendasikan komposisi pakan dari bahan yang telah di rekomendasikan oleh pakar. Karena kombinasi bahan juga mempengaruhi hasil *fitness* dan komposisi pakan. Bahan pakan yang direkomendasikan adalah tepung ikan, dedak gandum dan tepung kedelai. Hasil rekomendasi komposisi pakan dari bahan yang direkomendasikan ditunjukkan pada Tabel 17.

Tabel 17

| Persamaan | Bahan Pakan | | | Kandungan Nutrisi % | | | Harga |
|-----------|-------------|--------------|----------------|---------------------|-------|-------|-------|
| | Tepung Ikan | Dedak Gandum | Tepung Kedelai | Protein | Lemak | Serat | |
| E | 0.0129 | 1.2875 | 0.4996 | 23.9 | 5.7 | 3.51 | 9391 |

Dari hasil rekomendasi komposisi pakan bahwa persamaan *fitness* E dapat dinyatakan layak digunakan karena protein yang tersedia masih berada sekitar nutrisi protein yang dibutuhkan yaitu 20%. Untuk nutrisi lemak tidak terlalu berbeda jauh dari lemak yang dibutuhkan yaitu 7%. Menurut Juhriani (2014) kebutuhan lemak ikan bisa mencapai 4% -18% sehingga lemak yang tersedia masih dalam rentang yang dibutuhkan ikan. Untuk serat yang tersedia mencukupi kandungan nutrisi serat yang di butuhkan yaitu 4 %.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang optimasi komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang menggunakan algoritma *evolution strategies* ditarik beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengimplementasi algoritma *evolution strategies* dalam penentuan komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang yang harus dilakukan adalah menentukan kebutuhan nutrisi dan jumlah pakan dari ikan yang akan dibudidayakan dengan sistem polikultur. Dalam proses algoritma *evolution strategies* untuk mengoptimasi komposisi pakan diawali dengan membangkitkan individu sebanyak jumlah populasi yang diinputkan. Masing-masing individu memiliki nilai gen sebanyak jumlah bahan pakan yang diinputkan. Masing-masing gen merepresentasikan nilai kromosom. Representasi kromosom yang digunakan adalah representasi *real code* yang nilainya dibangkitkan secara *random* pada *rentang* tertentu. Kemudian akan dilakukan proses mutasi untuk menghasilkan keturunan baru sehingga individu lebih beragam. Setelah proses mutasi selesai dilakukan maka akan dilakukan proses seleksi dengan menggunakan seleksi *elitism* yang akan dipilih individu dengan nilai *fitness* tertinggi sebagai individu

yang lolos ke generasi selanjutnya sebanyak jumlah populasi.

2. Solusi yang dihasilkan dari implementasi algoritma *evolution strategies* dalam mengoptimasi komposisi pakan sistem polikultur ikan dan udang dapat diketahui berdasarkan nilai *fitness* yang dihasilkan. Dengan menggunakan parameter hasil pengujian yang diperoleh rata-rata nilai *fitness* yang diperoleh adalah 77.08264553. *Fitness* tersebut diperoleh dengan menggunakan parameter pengujian yaitu rentang kromosom 1-100, populasi 30, *Offspring* 8μ jumlah generasi 500 dan menggunakan siklus ES ($\mu/r+\lambda$) serta menggunakan persamaan *fitness* E. Dari hasil *fitness* tersebut juga diperoleh komposisi terbaik pada ikan bandeng usia 22 minggu dengan berat 0.6 Kg dan jumlah ikan 100 adalah tepung ikan 0.0129 Kg, dedak gandum 1.2875 Kg dan Tepung Kedelai 0.4996 Kg dengan total harga Rp. 9391,00.

Saran

Pada penelitian yang telah dilakukan dapat dijadikan bahan penelitian atau pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Dapat menambahkan jenis polikultur lain selain ikan bandeng dan udang, ikan nila dan udang.
2. Dapat menambahkan nutrisi yang lain yang dibutuhkan ikan untuk membuat komposisi pakan ikan supaya kebutuhan keutuhan nutrisi lain yang dibutuhkan oleh ikan terpenuhi.
3. Perbaikan solusi bisa dilakukan dengan melakukan hibridisasi *evolution strategies* dengan algoritma atau metode lain untuk merekomendasikan kombinasi bahan pakan yang tepat. Karena komposisi pakan juga di pengaruhi oleh kombinasi bahan pakan.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Abad, A & Elipe,A. 2014. *Evolution strategies for computing periodic orbits*. Tersedia di : <http://ac.els-cdn.com/S0378475414002018/1-s2.0-S0378475414002018-main.pdf?_tid=9bbb4c9c-df8a-11e5-b85f-00000aab0f02&acdnt=1456822391_4bc476060a7b6264ced1bd95844eb93f> [Diskses 11 Desember 2015]
- Afianto, E & Liviawaty, E. 1998. *Beberapa Metode Budidaya Ikan*. [e-book]. Tersedia di:< <https://books.google.co.id/books?id=iEHXUet-5FcC&printsec=frontcover&dq=Beberapa+Metode+Budidaya+Ikan&hl=id&sa=X&ved=0ahUKEwi7ydmHqZ3LAhUNC44KHdJ4AYMQ6AEIGTAA#v=onepage&q=Beberapa%20Metode%20Budidaya%20Ikan&f=false> > [Diakses 29 Februari 2016]

- Dharmawan, B., 2007. *Usaha Pembuatan Pakan Ikan Konsumsi Sukses Bisnis Pembuatan Pakan Ikan Konsumsi*. Pustaka Baru Press. Yogyakarta
- Juhrani. 2014. *Cara Membuat Pakan Buatan Ikan/Udang*. [Online]. Tersedia di : <<http://setbakorluh.kalselprov.go.id/?p=228>> [diakses tanggal 30 september 2015].
- Junior et al, 2012. *Polyculture of Nile tilapia and shrimp at different stocking densities*. *Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.41, n.7, p.1561-1569.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2013. *Data Statistik Komsumsi Ikan*. [Online]. Tersedia di : <http://statistik.kkp.go.id/index.php/guest/infogr afik_detail/angka_konsumsi_ikan > [Diakses februari 2016].
- Kholifah, U., Trisyani, N., Yuniar, I., 2008. *Pengaruh Padat Tebar yang Berbeda terhadap Kelangsungan Hidup dan Pertumbuhan pada Polikultur Udang Windu (Penaeus Monodon Fab) dan Ikan Bandeng (Chanos Chanos) pada Hapa di Tambak Brebes - Jawa Tengah*. *Department of Fisheries, Faculty of Engineering and Marine Science, Hang Tuah University*
- Mahmudy, W.F., 2013. *Algoritma Evolusi*. Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. Universitas Brawijaya. Malang
- Milah, H., Mahmudy, W.F., 2015. *Implementasi Algoritma Evolution Strategies Untuk Optimasi Komposisi Pakan Ternak Sapi Potong*. *Prog. Teknologi Informasi dan Ilmu Kompute*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Murachman, et al., 2010. *Model polikultur udang windu (penaeus monodon Fab), Ikan Bandeng (Chanos-chanos Forskal) dan Rumput Laut (Gracillaria Sp.) Secara tradisional*. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*. Vol.1, No.1
- Rifqi, N., Maharani, W., dan Shaufiah. 2011. *Analisis dan Implementasi klasifikasi data mining menggunakan jaringan syaraf tiruan dan Evolution Strategies*. Fak. Informatika, IT Telkom Bandung. [online]. Ersedia di: <<https://id.scribd.com/doc/115301485/183-191-Knsi2011-029-Analisis-Dan-implementasi-Klasifikasi-Data-Mining-Menggunakan-Jaringan-Syaraf-Tiruan-Dan-Evolution-Strategies>> [Diakses 30 September 2015].
- Schwefel, H-P 1995. *Evolution and Optimum Seeking*. Wiley. New York.
- Simão et al. 2013. *Stocking densities and feeding strategies in shrimp and tilapia polyculture in tanks*. *Pesq. agropec. bras. vol.48 no.8 Brasília*.
- Suyanto, 2008. *Evolutionary Computation Komputasi Berbasis "Evolusi" dan "Genitika"*. Informatika. Bandung.
- Wardhani, L.K., Safrizal, M., Chairi, A., 2011. *Optimasi Komposisi Bahan Pakan Ikan Air Tawar Menggunakan Metode Multi Objective Genetic Algorithm*. Tersedia di: <<http://journal.uir.ac.id/index.php/Snati/article/viewFile/2182/2008>> [Diakses 19 September 2015]
- Yasin, M., 2013. *Prospek Usaha Budidaya Udang Organik Secara Polikultur*. Fakultas Ekonomi, Universitas Alkhairaat, Palu.