

OPTIMASI KOMPOSISI PUPUK UNTUK SISTEM PENANAMAN TUMPANGSARI MENGGUNAKAN ALGORITMA *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO)

Pasca Imanuddin Akbar¹, Imam Cholissodin², Achmad Ridok²

Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya, Malang 65145, Indonesia

Email: gmacpasca.ia@gmail.com, imamcs@ub.ac.id, acridokg@ub.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan jumlah pulau mencapai 17.504 sehingga memiliki wilayah yang cukup luas dan variasi agroklimat yang beragam. Permasalahan dalam produksi pertanian menyebabkan dibutuhkan peralihan pola tanam. Penerapan sistem tumpangsari dapat meningkatkan hasil produksi pertanian dan meningkatkan efektivitas dalam penggunaan cahaya, air serta unsur hara, disamping dapat menekan pertumbuhan gulma. Untuk meningkatkan keberhasilan penerapan sistem tumpangsari diperlukan penggunaan dosis pupuk yang dapat memenuhi kebutuhan tanaman. Sedangkan penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan biaya yang dikeluarkan petani terlalu besar. Oleh karena itu dibutuhkan teknologi yang dapat memudahkan petani untuk mendapatkan komposisi pupuk yang dapat memenuhi tanaman tumpangsari dengan biaya seminimal mungkin, salah satunya sistem cerdas untuk optimasi campuran pupuk untuk sistem penanaman tumpangsari dengan menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Pada hasil pengujian *Particle Swarm Optimization* pada komposisi pupuk tanaman jagung dan kacang kedelai di Kabupaten Tulungagung Kecamatan Sumbergempol, jumlah iterasi yang digunakan adalah sebanyak 10 iterasi, komponen sosial yaitu $c1f$ sebesar 0,5, $c1i$ sebesar 2,5, $c2f$ sebesar 2,5 dan $c2i$ sebesar 0,5, jumlah partikel sebesar 80, jumlah iterasi 70 serta batas inersia yaitu w_{min} sebesar 0,4 dan w_{max} sebesar 0,6 didapatkan solusi yang dapat menghemat biaya sebesar Rp 79.380,00 atau 4,05% dari biaya pakar per hektar dengan bobot penalti sebesar 162.900. Hasil rekomendasi tersebut bila dibandingkan dengan pemupukan yang digunakan oleh petani dapat menghemat biaya sebesar Rp 982.580,00 atau 34,32% dan perbaikan bobot penalti sebesar 1.837.100.

ABSTRACT

Indonesia is a tropical country with a number of islands reached 17,504 so it has a large area and diverse agro-climatic variations. Problems in agricultural production led to the need for shift cropping patterns. Application of cropping system can increase agricultural production and improve effectiveness in the use of light, water and nutrients, in addition to suppress the growth of weeds. To enhance the successful implementation of the cropping system required the use of fertilizers to meet crop needs. Therefore the need for technology that can enable farmers to obtain fertilizer composition that can meet intercropping with minimum cost, one intelligent systems to optimize the mix of fertilizer to the system by using algorithms multicropping Particle Swarm Optimization (PSO). In the test results on the Particle Swarm Optimization fertilizer composition corn and soybeans in Tulungagung subdistrict Sumbergempol, the number of iterations used is 10 iterations, the social component is $c1f$ of 0.5, $c1i$ of 2.5, $c2f$ of 2.5 and $c2i$ by 0.5, the number of particles of 80, and the number of iterations of 70 and inertia that is w_{min} by 0.4 and 0.6 w_{max} obtained solutions can save as much as Rp 79,380.00 or 4.05% of the cost of experts per hectares with a weight penalty of 162 900. The result of these recommendations when compared with fertilizer used by farmers can save the cost of Rp 982,580.00 or 34.32% and improved weight penalty of 1.8371 million.

1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan jumlah pulau mencapai 17.504 sehingga memiliki wilayah yang cukup luas dan variasi agroklimat yang beragam. Menurut Badan Pusat Statistik, pada tahun 2013 Indonesia memiliki luas lahan sawah lebih dari 8,1 juta Hektar. Selama ini masih banyak permasalahan dalam usaha peningkatan

produksi pertanian (Indriati, 2009), di antaranya adalah penggunaan pupuk anorganik dan pestisida secara tidak terkontrol dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Di samping dibutuhkan biaya usaha tani yang tinggi, konversi lahan pertanian menjadi kompleks perumahan, kawasan industri, kawasan perdagangan dan berbagai sarana publik lain berakibat terhadap semakin sempitnya lahan pertanian produktif. Sistem pertanian secara monokultur atau terpaku pada

satu jenis tanaman yang digunakan pada usaha tani dapat menyebabkan berkurangnya unsur-unsur hara tertentu yang dapat menyebabkan defisiensi atau kerusakan pada lahan tanah pertanian.

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan di atas adalah penerapan sistem tumpangsari. Pola tanam ganda atau tumpangsari merupakan sistem pengelolaan lahan pertanian dengan mengkombinasikan penanaman beberapa jenis tanaman dalam satu masa tanam. Dengan penanaman lebih dari satu tanaman dapat meningkatkan hasil produksi pertanian dengan luas lahan yang lebih sempit. Selain itu sistem penanaman tumpangsari dapat meningkatkan efektivitas dalam penggunaan cahaya, air serta unsur hara, di samping dapat menekan pertumbuhan gulma. Sistem tumpangsari lebih menguntungkan baik secara agronomis maupun ekonomis (Indriati, 2009). Untuk mengevaluasi manfaat yang ditimbulkan dari pola tanam tumpangsari dapat dilihat dari hasil perhitungan Nilai Kesetaraan Lahan (NKL) yang bernilai lebih dari 1 (Prasetyo, 2009).

Dalam pola tanam tumpangsari terdapat banyak faktor yang harus dipertimbangkan di antaranya kesesuaian masa tanam, jarak antar tanaman, pola, serta jumlah populasi tanaman perlu diperhatikan agar tidak terjadi persaingan antar tanaman. Selain itu, untuk meningkatkan keberhasilan penerapan sistem tumpangsari diperlukan penggunaan dosis pupuk yang dapat memenuhi kebutuhan tanaman. Hal ini diperlukan agar tidak terdapat persaingan antar tanaman yang dapat mempengaruhi hasil panen. Sedangkan komposisi pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan masalah biaya yang dikeluarkan petani menjadi terlalu besar. Oleh karena itu dibutuhkan teknologi yang dapat memudahkan petani untuk mendapatkan komposisi pupuk yang dapat memenuhi tanaman tumpangsari dengan biaya seminimal mungkin.

Berdasarkan permasalahan di atas pada penelitian ini, didesain sebuah sistem untuk optimasi campuran pupuk untuk sistem penanaman tumpangsari dengan menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan sebuah teknik optimasi stokastik berdasarkan populasi yang diinspirasi oleh perilaku sosial kawanan burung atau sekelompok ikan dalam mencari makanan. Algoritma *Particle Swarm Optimization*

Particle Swarm Optimization (PSO) pertama kali dikembangkan pada tahun 1995 oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy (Krusienski dan Jenkins, 2006). Dibandingkan dengan algoritma evolusioner lainnya seperti Algoritma Genetika, *Particle Swarm Optimization* memiliki beberapa kelebihan, antara lain mudah diimplementasikan dan membutuhkan parameter yang lebih sedikit (Wati, 2013), serta lebih efisien dimana untuk menyelesaikan suatu permasalahan PSO membutuhkan lebih sedikit komputasi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengimplementasikan *Particle Swarm Optimization* untuk optimasi komposisi pupuk yang digunakan pada tanaman tumpangsari.
2. Bagaimana parameter yang digunakan untuk optimasi komposisi pupuk untuk tanaman tumpangsari menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* sehingga dapat menghasilkan hasil rekomendasi yang optimal.
3. Bagaimana kualitas dari rekomendasi hasil optimasi komposisi pupuk untuk tanaman tumpangsari menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization*.

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan algoritma *Particle Swarm Optimization* untuk membuat sistem cerdas untuk rekomendasi komposisi pupuk tanaman tumpangsari.
2. Mendapatkan parameter optimal untuk optimasi komposisi pupuk untuk tanaman tumpangsari menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization*.
3. Mendapatkan nilai evaluasi dari hasil rekomendasi komposisi pupuk tanaman tumpangsari menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization*.

1.4. Rumusan Masalah

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu petani untuk menentukan komposisi pupuk yang tepat sehingga mengoptimalkan pertumbuhan tanaman tumpangsari.
2. Memaksimalkan keuntungan petani

dengan cara mengurangi biaya pemupukan.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dijadikan sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis tanaman yang digunakan sebagai objek penelitian merupakan tanaman pangan yaitu jagung dan kacang kedelai.
2. Pupuk yang digunakan pada penelitian ini adalah pupuk Urea, pupuk SP-36 dan pupuk KCl.
3. Data rekomendasi pupuk yang digunakan pada penelitian ini adalah data rekomendasi pupuk tanaman jagung dan kedelai pada enam kabupaten/kota di Propinsi Jawa Timur yaitu Bojonegoro, Lamongan, Gresik, Madiun, Ngawi dan Tulungagung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Tumpangsari

Tumpangsari merupakan sistem pertanian dengan mengkombinasikan dua atau lebih jenis tanaman pada sebidang lahan pertanian dalam satu jangka waktu tertentu. Sistem ini merupakan sistem intensifikasi pertanian atau pengoptimalan hasil pertanian dengan menggunakan satu lahan dalam dimensi waktu dan ruang tertentu.

2.2. Jenis-jenis Tumpangsari

Terdapat beberapa macam metode penanaman tumpangsari, di antaranya adalah sebagai berikut (Sutedjo, 1989):

1. Tumpangsari campuran (*mixed intercropping*), yaitu dua atau lebih jenis tanaman secara serentak tanpa menggunakan pola atau pengaturan barisan yang jelas.
2. Tumpangsari barisan (*row intercropping*), yaitu penanaman dua atau lebih jenis tanaman secara serentak dalam barisan.
3. Tumpangsari lajur (*strip intercropping*), yaitu penanaman dua atau lebih jenis tanaman secara serentak dalam lajur yang berbeda yang cukup lebar sebagai penanaman bebas tetapi cukup sempit untuk tanaman dapat berinteraksi secara argonomi.
4. Tumpangsari sisipan (*relay intercropping*), yaitu penanaman dua atau lebih jenis tanaman secara serentak selama sebagian kehidupan tanaman. Tanaman

kedua ditanam setelah tanaman pertama sudah mencapai masa reproduksi tetapi belum siap panen.

2.3. Kelebihan Sistem Pertanian Tumpangsari

Berikut merupakan kelebihan yang dimiliki sistem penanaman tumpangsari.

1. Menekan serangan hama dan penyakit

Penanaman tumpangsari merupakan penanaman dengan menggunkan lebih dari dua jenis tanaman pada satu lahan yang sama. Dengan menanamkan tanaman yang dapat mengusir hama atau penyakit tertentu pada sistem tanam tumpangsari akan menyebabkan berkurangnya serangan hama dan penyakit.

2. Efisien penggunaan ruang dan waktu

Pada pola tanam monokultur, terdapat sisa lahan kosong yang tidak dapat digunakan. Dengan penanaman tumpangsari, lahan kosong ini dapat dimanfaatkan untuk tanaman lainnya sehingga petani tidak perlu menunggu tanaman utama selesai menggunakan lahan.

3. Mencegah dan mengurangi pengangguran musim

Dengan menggunakan beberapa jenis tanaman yang memiliki jangka waktu atau musim tertentu untuk dapat tumbuh dengan baik. Hal ini menyebabkan petani manganggur untuk menunggu masa tanam berikutnya. Pada sistem penanaman tumpangsari, tanaman yang digunakan memiliki musim dan siklus tanam yang lebih beragam. Dengan perbedaan musim tanam antara tanaman satu dengan tanaman lainnya, petani dapat melakukan rotasi sehingga tidak perlu manganggur.

4. Memperbaiki sifat fisik tanah

Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan nutrisi unsur hara yang berbeda. Dengan adanya rotasi penanaman jenis tanaman, memungkinan tanah untuk mengembalikan unsur-unsur hara yang telah diserap oleh jenis tanaman sebelumnya.

5. Meningkatkan nilai tambah produktivitas hasil

Dengan penanaman tumpangsari, lahan kosong yang dimanfaatkan untuk tanaman lainnya dapat menjadi nilai tambah yang dapat meningkatkan keuntungan petani.

2.4. Tumpangsari Jagung dan Kedelai

Tumpangsari kedelai dan jagung dapat dilakukan dengan menggunakan sistem penanaman tumpangsari lajur (*strip intercropping*) dimana tanaman kedelai ditanam pada sela-sela lajur tanaman jagung. Jarak ideal yang dibutuhkan oleh tanaman kedelai adalah 40 cm x 15 cm sedangkan jarak ideal yang dibutuhkan oleh tanaman jagung adalah 75 cm x 40 cm. Dengan ketentuan tersebut, bila jarak tanam jagung tumpangsari dibuat 150 cm x 40 cm, maka setidaknya akan terdapat 6 sampai 8 tanaman kedelai pada satu jarak tanam jagung seperti berikut.

0	0	0	0	0	0
X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X
0	0	0	0	0	0

0 : Jagung X : Kedelai

2.5. Pemupukan Pertanian Tumpangsari Jagung dan Kacang Kedelai

Pupuk merupakan materi yang ditambahkan pada lahan atau media tanam untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman sehingga tanaman tersebut mampu tumbuh dan berproduksi secara optimal. Material pupuk dapat berupa bahan organik ataupun non-organik. Unsur hara yang terkandung dalam pupuk di antaranya adalah nitrogen (N), fosfat (P), kalsium (Ca), kalium (K), seng (Zn), tembaga (Cu), belerang (S) dan besi (Fe) (Soemarno, 2013).

Komposisi pupuk yang digunakan tergantung dari jenis tumbuhan dan jenis tanah yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik dan susunan kimia tanah. Pemupukan yang benar harus mempertimbangkan kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara dan kebutuhan hara tanaman itu sendiri sehingga hasil produksi meningkat tanpa merusak lahan atau media tanam akibat pemupukan yang berlebihan (Soemarno, 2013). Terdapat pada lima kabupaten di Jawa Timur yang siap diimplementasikan sebagai lahan Tumpangsari

Jagung dan Kedelai yaitu Madiun, Sampang, Pacitan, Pamekasan dan Trenggalek.

2.6. Particle Swarm Optimization

Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan sebuah teknik optimasi berdasarkan populasi yang diinspirasi oleh perilaku sosial kawanan burung atau sekelompok ikan dalam mencari makanan. Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) pertama kali dikembangkan pada tahun 1995 oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy (Krusienski dan Jenkins, 2006). Dibandingkan dengan Algoritma Genetika, *Particle Swarm Optimization* memiliki beberapa kelebihan, antara lain mudah diimplementasikan dan parameter yang harus ditentukan lebih sedikit dan lebih efisien (Wati dkk, 2013). *Particle Swarm Optimization* dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan non linier, pencarian dengan ruang yang besar dan dapat memberikan hasil yang lebih baik dengan lebih efisien.

Particle Swarm Optimization memiliki beberapa kesamaan dengan teknik komputasi evolusioner seperti Algoritma Genetika, dimana terdapat individu yang merupakan representasi dari sebuah solusi yang dibangkitkan secara acak dari kemungkinan solusi yang ada. Tidak seperti Algoritma Genetika, pada *Particle Swarm Optimization* setiap partikel tidak digantikan oleh partikel baru. Setiap partikel menyesuaikan pergerakannya sesuai dengan pengalamannya sendiri serta pengalaman tetangganya.

Langkah-langkah Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam menyelesaikan suatu permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi partikel serta membangkitkan kecepatan awal.
2. Evaluasi partikel/menghitung nilai *fitness*.
3. Mencari partikel lokal terbaik atau *pBest*.
4. Mencari partikel global terbaik atau *gBest*.
5. Memperbarui kecepatan partikel.
6. Memperbarui posisi partikel.
7. Bila kondisi berhenti belum terpenuhi mengulang dari langkah ke-2.

3. Metodologi Penelitian

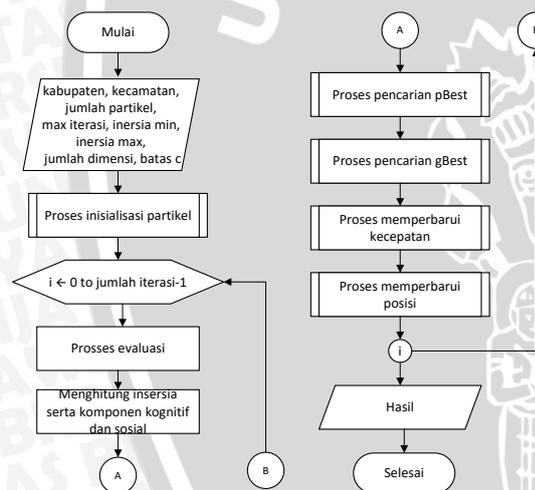
3.1. Sumber Data

Pengumpulan data dilakukan untuk menunjang keberhasilan dari penelitian. Pengumpulan data dari dataset yang

dikumpulkan dalam melakukan pola tanam Tumpangsari yang didapat dari Balai Pengkajian Teknologi Pertanian untuk dataset kebutuhan komposisi pupuk jagung dan kacang. Penulis juga melakukan wawancara kepada pakar untuk mendapatkan informasi seperti penggunaan pupuk pertanian tumpangsari jagung dan kedelai. Data yang diperoleh berupa kebutuhan sistem yang akan dikembangkan seperti data interval pupuk tiap kabupaten dan rekomendasi pupuk kecamatan. Selain itu penulis juga melakukan wawancara kepada petani di daerah Tulungagung untuk mendapatkan informasi penggunaan pupuk pertanian yang digunakan oleh petani untuk penanaman tumpangsari jagung dan kedelai.

3.2. Perancangan Sistem

Berikut merupakan diagram alir proses perhitungan *Particle Swarm Optimization* yang digunakan untuk implementasi sistem optimasi pupuk.



Proses *Particle Swarm Optimization* diawali dengan memasukkan parameter sebagai berikut:

- a. Kabupaten Lamongan : Lamongan
- b. Kecamatan Babat : Babat
- c. Harga Urea : Rp. 1.800,00
- d. Harga SP-36 : Rp. 2.000,00
- e. Harga KCL : Rp. 5.600,00
- f. Jumlah Iterasi : 2
- g. Jumlah Partikel : 5
- h. w_{min} : 0,4
- i. w_{max} : 0,9
- j. $c1i$: 2,5
- k. $c1f$: 0,5
- l. $c2i$: 0,5
- m. $c2f$: 2,5

Inisialisasi Partikel

Populasi awal dibangkitkan sebanyak jumlah partikel yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai pada setiap dimensi partikel didapatkan dari mengacak nilai sesuai dengan interval pada data interval rekomendasi pupuk oleh pakar seperti berikut.

- a. Urea jagung dengan interval 350 kg/ha, sehingga didapat nilai acak sebesar 350 kg/ha.
- b. SP-36 jagung dengan interval 100 sampai dengan 150 kg/ha, sehingga didapat nilai acak sebesar 149 kg/ha.
- c. KCL jagung dengan interval 50 sampai dengan 75 kg/ha, sehingga didapat nilai acak sebesar 65 kg/ha.
- d. Urea kedelai dengan interval 50 kg/ha, sehingga didapat nilai acak sebesar 50 kg/ha.
- e. SP-36 kedelai dengan interval 50 sampai dengan 100 kg/ha, sehingga didapat nilai acak sebesar 64 kg/ha.
- f. KCL kedelai dengan interval 50 sampai dengan 75 kg/ha, sehingga didapat nilai acak sebesar 72 kg/ha.

Dari nilai yang telah didapat di atas dapat dibentuk menjadi satu susunan partikel dengan susunan seperti berikut.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai		
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL
1	350	149	65	50	64	72

Kemudian tahapan di atas akan diulangi sebanyak jumlah partikel yang telah ditentukan. Proses tersebut akan menghasilkan populasi partikel awal seperti berikut.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai		
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL
1	350	149	65	50	64	72
2	350	141	54	50	68	74
3	350	124	69	50	66	73
4	350	106	56	50	56	66
5	350	139	68	50	55	61

Inisialisasi Kecepatan

Setelah populasi awal dibangkitkan, tahap selanjutnya adalah proses inisialisasi kecepatan. Pada algoritma *Particle Swarm Optimization* kecepatan mempengaruhi posisi suatu partikel ke arah tertentu, sehingga besar kecepatan yang mempengaruhi setiap dimensi



pada suatu partikel berbeda. Oleh karena itu kecepatan dapat direpresentasikan ke dalam tabel dengan ukuran jumlah partikel dikali ukuran dimensi partikel tersebut. Untuk inialisasi dianggap suatu partikel masih dalam keadaan diam, sehingga kecepatan awal dianggap bernilai 0 untuk setiap dimensi pada setiap partikel populasi awal.

Proses Evaluasi / Perhitungan Fitness

Tahap awal untuk melakukan perhitungan nilai *fitness* pada proses optimasi ini adalah dengan menghitung nilai penalti untuk masing-masing dimensi pada partikel. Proses perhitungan nilai penalti pada masing-masing dimensi dilakukan dengan cara menghitung selisih antara komposisi pupuk tiap dimensi yang telah dibangkitkan dengan komposisi pupuk kecamatan yang direkomendasikan pakar. Berikut contoh rekomendasi pemupukan pada kecamatan Babat.

Kecamatan	Jagung			Kedelai		
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL
Babat	350	125	75	50	75	75

Berikut merupakan perhitunagn nilai penalti pada parikel ke-1 pada populasi awal yang telah diinisialisasi.

- Selisih rekomendasi Urea Jagung = $|350 - 350| = 0$
- Selisih rekomendasi SP-36 Jagung = $|149 - 125| = 24$
- Selisih rekomendasi KCL Jagung = $|65 - 75| = 10$
- Selisih rekomendasi Urea Kedelai = $|50 - 50| = 0$
- Selisih rekomendasi SP-36 Kedelai = $|64 - 75| = 11$
- Selisih rekomendasi KCL Kedelai = $|72 - 75| = 3$
- Penalti partikel ke-1 = $(0 + 24 + 10 + 0 + 11 + 3) \times 10000 = 480000$

Setelah didapat nilai penalti, dilakukan perhitungan untuk mencari total harga yang dikeluarkan. Total harga merupakan komposisi dikali harga untuk setiap jenis pupuknya. Berikut merupakan perhitunagn total harga pada parikel ke-1 pada populasi awal yang telah diinisialisasi.

- Harga Urea Jagung = $350 \times 1800 = 630000$
- Harga SP-36 Jagung = $149 \times 2000 = 298000$
- Harga KCL Jagung = $65 \times 5600 = 364000$

- Harga Urea Kedelai = $50 \times 1800 = 90000$
- Harga SP-36 Kedelai = $64 \times 2000 = 128000$
- Harga KCL Kedelai = $72 \times 5600 = 403200$
- Total harga = Harga Urea Jagung + Harga SP - 36 Jagung + Harga KCL Jagung + Harga Urea Kedelai + Harga SP - 36 Kedelai + Harga KCL Kedelai = $630000 + 298000 + 364000 + 90000 + 128000 + 403200 = 1913200$

Setelah didapat nilai penalty dan total harga, dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *fitness* dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan.

$$Fitness \text{ partikel ke-1} = \frac{10^7}{(total \text{ harga} + \text{penalti})} = \frac{10^7}{(1913200 + 480000)} = 4,179$$

Perhitungan di atas akan diulang sampai didapat nilai *fitness* untuk semua partikel pada populasi seperti berikut.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai			Fitness
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL	
1	350	149	65	50	64	72	4,179
2	350	141	54	50	68	74	4,339
3	350	124	69	50	66	73	4,819
4	350	106	56	50	56	66	4,189
5	350	139	68	50	55	61	4,201

Proses Pencarian pBest

Setelah didapat nilai *fitness* seluruh partikel dilakukan pencarian *pBest*. Untuk mencari partikel *pBest*, partikel pada iterasi tersebut dibandingkan nilai *fitness*-nya dengan nilai *fitness pBest*-nya. Pada contoh ini digunakan partikel ke-1 seperti berikut.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai			Fitness
	Urea	SP-36	Fitness	Urea	SP-36	KCL	
1	350	149	65	50	64	72	4,179

Karena pada contoh yang digunakan masih pada tahap awal dan nilai *pBest* belum ada, partikel langsung dianggap menjadi partikel *pBest*. Sehingga populasi partikel *pBest* menjadi seperti berikut.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai			Fitness
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL	
1	350	149	65	50	64	72	4,179



2	350	141	54	50	68	74	4,339
3	350	124	69	50	66	73	4,819
4	350	106	56	50	56	66	4,189
5	350	139	68	50	55	61	4,201

Misalkan pada iterasi selanjutnya pada partikel ke-1 didapat nilai *fitness* yang lebih baik daripada nilai *fitness* pada partikel *pBest* maka partikel tersebut akan menggantikan partikel ke-1 pada populasi *pBest*.

Proses Pencarian *gBest*

Setelah didapat populasi *pBest*, dilakukan pencarian *pBest*. Untuk mencari partikel *gBest*, antar partikel *pBest* pada iterasi tersebut dibandingkan sehingga didapat partikel dengan nilai *fitness* terbaik. Berikut *gBest* yang didapat.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai			Fitness
	Urea	SP-36	Fitness	Urea	SP-36	KCL	
3	350	124	69	50	66	73	4,819

Menghitung Bobot Inersia

Sebelum melakukan proses memperbaiki kecepatan partikel, dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai bobot inersia. Melanjutkan contoh sebelumnya, karena masih pada tahap inisialisasi didapat nilai $t = 0$ sehingga bobot inersia dihitung seperti berikut.

$$w_t = w_{min} + (w_{max} - w_{min}) \frac{(t_{max} - t)}{t_{max}}$$

$$= 0,4 + (0,9 - 0,4) \frac{(2 - 0)}{2}$$

$$= 0,9$$

Menghitung Komponen Kognitif dan Sosial

Sebelum melakukan proses memperbaiki kecepatan partikel, dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai komponen kognitif dan sosial. Melanjutkan contoh sebelumnya, karena masih pada tahap inisialisasi didapat nilai $t = 0$ sehingga komponen kognitif dan sosial dihitung seperti berikut.

$$c_1 = (c_{1f} - c_{1i}) \frac{t}{t_{max}} + c_{1i}$$

$$= (0,5 - 2,5) \frac{0}{2} + 2,5 = 2,5$$

$$c_2 = (c_{2f} - c_{2i}) \frac{t}{t_{max}} + c_{2i} = (0,5 - 2,5) \frac{0}{2} + 0,5 = 0,5$$

Proses Memperbarui Kecepatan

Pada proses memperbaiki kecepatan partikel ini digunakan dimensi ke-2 pada partikel ke-1 populasi awal sebelumnya dengan

menggunakan nilai r_1 sebesar 0,5 dan r_2 sebesar 0,6.

$$v_t = wv_{t-1} + c_1r_1(pBest_t - p_t) + c_2r_2(gBest_t - p_t)$$

$$= 0,9 \times 0 + 2,5 \times 0,5 \times (149 - 149) + 0,5 \times 0,6 \times (124 - 149)$$

$$= -7,5$$

Perhitungan di atas akan diulang sampai didapat kecepatan untuk semua dimensi pada setiap partikel pada populasi seperti berikut.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai		
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL
1	0,00	-7,50	1,20	0,00	0,60	0,30
2	0,00	-5,10	4,50	0,00	-0,60	-0,30
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	5,40	3,90	0,00	3,00	2,10
5	0,00	-4,50	0,30	0,00	3,30	3,60

Proses memperbaiki Posisi

Setelah didapat kecepatan dilakukan proses memperbaiki posisi partikel. Proses memperbaiki posisi partikel dilakukan dengan menjumlahkan kecepatan yang didapat dengan nilai setiap dimensi pada posisi partikel. Berikut merupakan contoh proses memperbaiki partikel pada partikel ke-1.

- Urea Jagung = $350 + 0,00 = 350,00$
- SP-36 Jagung = $149 + (-7,50) = 141,50$
- KCL Jagung = $65 + 1,20 = 66,20$
- Urea Kedelai = $50 + 0,00 = 50,00$
- SP-36 Kedelai = $64 + 0,60 = 64,60$
- KCL Kedelai = $72 + 0,30 = 72,30$

Berdasarkan perhitungan diatas didapat posisi terbaru partikel ke-1 yang akan digunakan pada iterasi selanjutnya seperti pada berikut.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai		
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL
1	350	149	65	50	64	72

Proses di atas akan diulang sampai seluruh posisi partikel pada populasi awal telah diperbarui sehingga menghasilkan populasi seperti pada berikut.

Partikel ke-	Jagung			Kedelai		
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL
1	350,00	141,50	66,20	50,00	64,60	72,30
2	350,00	135,90	58,50	50,00	67,40	73,70
3	350,00	124,00	69,00	50,00	66,00	73,00
4	350,00	111,40	59,90	50,00	59,00	68,10
5	350,00	134,50	68,30	50,00	58,30	64,60

Proses ini akan menjadi akhir dari iterasi dan proses Particle Swarm Optimization akan dilanjutkan pada iterasi selanjutnya.

4. Pengujian Dan Analisis

4.1. Analisis Hasil Pengujian Jumlah Populasi Terbaik



Berdasarkan Gambar 6.1, grafik menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah partikel maka semakin besar nilai rata-rata *fitness* yang didapatkan. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah partikel yang digunakan semakin beragam nilai atau solusi yang dihasilkan. Keragaman solusi ini membuat area pencarian pada *Particle Swarm Optimization* semakin besar sehingga mempermudah sistem untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Percobaan dengan jumlah partikel 10 memiliki nilai rata-rata *fitness* yang paling rendah, yaitu sebesar 4,884249. Sedangkan nilai rata-rata *fitness* paling tinggi terjadi pada percobaan dengan jumlah populasi lebih dari 80 yaitu dengan *fitness* sebesar 5,040307.

4.2. Analisis Hasil Pengujian Jumlah Iterasi Terbaik



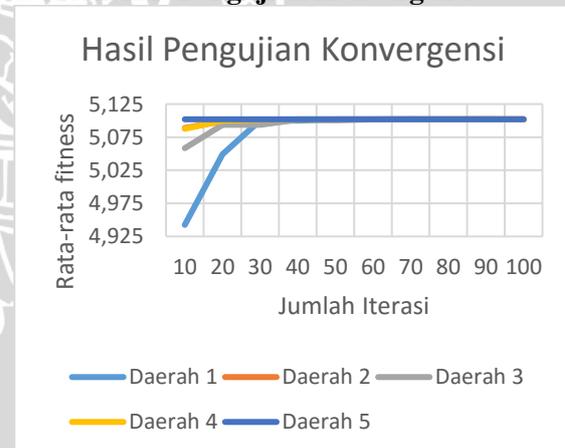
Berdasarkan Gambar 6.2, grafik menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah iterasi maka semakin besar nilai rata-rata *fitness*

yang didapatkan. Hal ini dikarenakan *Particle Swarm Optimization* merupakan algoritma yang secara iteratif mengoptimasi suatu permasalahan dengan memperbaiki kandidat solusinya. Semakin banyak jumlah iterasi yang digunakan, menambah jumlah proses optimasi pada *Particle Swarm Optimization* sehingga mendapatkan hasil yang didapat lebih optimal. Percobaan dengan jumlah iterasi 10 memiliki nilai rata-rata *fitness* yang paling rendah, yaitu sebesar 5,040307. Sedangkan nilai rata-rata *fitness* paling tinggi terjadi pada percobaan dengan jumlah iterasi lebih dari 70 yaitu dengan *fitness* sebesar 5,101224.

4.3. Analisis Hasil Pengujian Jumlah Bobot Inersia

Bobot inersia mempengaruhi pencarian pada *Particle Swarm Optimization*. Bobot inersia bernilai besar mempermudah pencarian global sedangkan bobot inersia bernilai kecil mempermudah pencarian lokal. Pada Tabel 6.3 menunjukkan bahwa batas inersia yaitu w_{min} sebesar 0,1 dan w_{max} sebesar 0,2 menghasilkan nilai *fitness* yang paling rendah, yaitu sebesar 5,08E-07. Sedangkan nilai rata-rata *fitness* paling tinggi terjadi pada percobaan dengan w_{min} sebesar 0,4 dan w_{max} sebesar 0,6 yaitu dengan *fitness* sebesar 5,102040.

4.4. Analisis Pengujian Konvergensi



Berdasarkan Gambar 6.3, grafik menunjukkan bahwa konvergensi terjadi pada jumlah iterasi sebesar 40. Percobaan dengan parameter Daerah 2, menghasilkan nilai *fitness* terbaik yaitu 5,102040 pada jumlah iterasi 60. Percobaan dengan parameter Daerah 1, 2 dan 3, menghasilkan nilai *fitness* terbaik pada jumlah iterasi 70 yaitu 5,101970, 5,102039 dan 5,102041. Sedangkan data Daerah 5 menghasilkan nilai *fitness* terbaik yaitu 5,102041 pada jumlah iterasi kurang dari 10.



4.5. Analisis Hasil Keseluruhan Pengujian

Pengujian keseluruhan sistem digunakan untuk mengetahui kualitas hasil optimasi yang dihasilkan sistem. Sistem melakukan optimasi pupuk pada Kabupaten Tulungagung Kecamatan Sumbergempol, jumlah iterasi yang digunakan adalah sebanyak 10 iterasi dan komponen sosial yaitu $c1f$ sebesar 0,5, $c1i$ sebesar 2,5, $c2f$ sebesar 2,5 dan $c2i$ sebesar 0,5. Sedangkan jumlah partikel dan jumlah iterasi yang digunakan merupakan jumlah partikel, jumlah iterasi dan batas inersia terbaik hasil pengujian sebelumnya, yaitu jumlah partikel sebesar 80, jumlah iterasi 70 serta batas inersia yaitu w_{min} sebesar 0,4 dan w_{max} sebesar 0,6.

Rekomendasi	Rekomendasi Pupuk (Kg/Ha)						Penalti	Total Biaya
	Jagung			Kedelai				
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL		
Pakar	350	125	100	50	75	100	0	1960000
Sistem	350	123,89	99,79	50	72,82	87,21	162900	1880620
Selisih	0	1,11	0,21	0	2,18	12,79	162900	79380

Berdasarkan Tabel 6.6, total biaya yang dibutuhkan untuk komposisi pupuk oleh sistem sebesar Rp 1.880.620,00. Biaya ini lebih murah apabila dibandingkan dengan total biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi rekomendasi komposisi pupuk dari pakar yaitu sebesar Rp 1.960.000,00. Dapat disimpulkan dalam pengujian tersebut terdapat penghematan biaya sebesar Rp 79.380,00 atau 4,05% dari biaya pakar dengan bobot penalti sebesar 162.900.

Rekomendasi	Rekomendasi Pupuk (Kg/Ha)						Penalti	Total Biaya
	Jagung			Kedelai				
	Urea	SP-36	KCL	Urea	SP-36	KCL		
Pakar	420	165	132	66	90	132	2000000	2863200
Sistem	350	123,89	99,79	50	72,82	87,21	162900	1880620
Selisih	70	42,11	32,21	11	17,18	44,79	1837100	982580

Sedangkan Berdasarkan Tabel 6.7, total biaya yang dibutuhkan untuk komposisi pupuk oleh petani sebesar Rp 2.863.200 dengan bobot penalti 2.000.000. Biaya rekomendasi sistem lebih murah apabila dibandingkan dengan total biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi rekomendasi komposisi pupuk dari petani dengan penghematan biaya sebesar Rp 982.580,00 atau 34,32% dan perbaikan bobot penalti sebesar 1.837.100.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan penelitian yang berjudul “Optimasi Nutrisi Pupuk Dalam Pertanian Tumpangsari dengan Algoritma Genetika Hibridasi” yang telah dideskripsikan pada bab 5 dan hasil analisa serta pengujian pada bab 6 dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berdasarkan perancangan dan implementasi sistem, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi sistem optimasi komposisi pupuk tanaman tumpangsari dengan menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization, dimulai dengan membuat susunan partikel yang terdiri dari pupuk Urea, SP-36 tanaman 1, KCL tanaman 1, Urea tanaman 2, SP-36 tanaman 2 dan KCL tanaman 2. Untuk proses evaluasi, nilai *fitness* dihitung berdasarkan total harga dan selisih rekomendasi. Setelah *fitness* didapat dilakukan pencarian pBest dan gBest. Untuk melakukan perbaruan kecepatan bobot inersia yang digunakan merupakan *time varying inertia weight* (TVIW) dan *time varying acceleration coefficient* (TVAC). Kemudian partikel diperbarui berdasarkan kecepatan tersebut. Proses optimasi akan berakhir ketika telah mencapai generasi akhir dan menghasilkan kombinasi pupuk optimal.
2. Dari hasil pengujian Particle Swarm Optimazion pada data pupuk tanaman tumpangsari didapat parameter optimal sebagai berikut:
 - a. Jumlah partikel sebesar 80 dan iterasi sebesar 70.
 - b. Batas inersia yaitu w_{min} sebesar 0,4 dan w_{max} sebesar 0,6.
3. Dari perbandingan antara rekomendasi sistem dan rekomendasi pakar, rekomendasi sistem dapat menghemat total biaya yang digunakan untuk komposisi pupuk tanaman tumpangsari sebesar Rp 79.380,00 atau 4,05%. Sedangkan bila dibandingkan dengan komposisi pemupukan yang digunakan oleh petani, sistem dapat menghemat biaya sebesar Rp 982.580,00 atau 34,32% serta perbaikan penalti komposisi pupuk sebesar 1.837.100.

5.2. Saran

Untuk mengembangkan penelitian ini, saran dari penulis adalah dengan mengerjakan beberapa hal atau permasalahan yang belum sepenuhnya dikaji dalam penelitian ini di antaranya:

1. Pada pengujian yang telah dilakukan, partikel telah mencapai titik konvergen pada jumlah iterasi yang relatif sedikit yaitu pada iterasi 40 sehingga terdapat kemungkinan terjadi konvergensi dini. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan *Random Injection* pada saat memperbarui posisi partikel sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya konvergensi dini.
2. Optimasi pupuk yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada tanaman jagung dan kacang kedelai, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan variasi tanaman lainnya yang sering digunakan pada pola tanam tumpangsari di Indonesia.
3. Dalam penelitian ini pemupukan masih dibedakan antar tanaman tumpangsari karena diharapkan jarak yang digunakan pada pola tanam tumpangsari cukup baik sehingga pupuk antar tanaman tidak saling mempengaruhi. Pada penelitian selanjutnya dapat menggabungkan pupuk tanaman tumpangsari menjadi satu sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dikarenakan petani tidak perlu menyiapkan kadar pupuk yang berbeda pada tiap tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- AAK. 1993. Jagung, penerbit Kanisius – Yogyakarta.
- Aminah, Iin Siti, Rosmiah dan M. Haris Yahya. 2014. Efisiensi Pemanfaatan Lahan pada Tumpangsari Jagung (*Zea mays L.*) dan Kedelai (*Glycine Max L. Merrill*) di Lahan Pasang Surut. Tersedia di: www.pur-plso-unsri.org/dokumen/44_iin%20aminah_re_d.pdf [Diakses 26 November 2015]
- Ariani, Dian, Arna Fahriza dan Ira Prasetyaningrum. 2011. Optimasi Penjadwalan Mata Kuliah Di Jurusan Teknik Informatika PENS dengan Menggunakan Alogartitma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Tersedia di: <http://repo.pens.ac.id/589/1/1235.pdf> [Diakses 15 September 2015]
- Badan Penelitian dan Pengembangan Petanian, Kementrian Pertanian. 2014. Kalender Tanam Terpadu Versi 2.0 Musim Hujan (MH) Oktober 2014 – Maret 2014.
- Bansal, J. C., dkk. 2011. *Inertia Weight Strategies in Particle Swarm Optimization*. Tersedia di: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6083215/6089255/06089659.pdf> [Diakses 26 November 2015]
- Fadilah, Ayu Nur, Imam Cholissodin dan Wayan Firdaus Mahmudy. 2015. Implementasi *Analytical Hierarchy Process* (AHP) Dan Algoritma Genetika Untuk Rekomendasi Dan Optimasi Pemupukan Berimbang Tanaman Hortikultura. Tersedia di: filkom.ub.ac.id/doro/archives/detail/DR00139201506 [Diakses 15 September 2015]
- Putri, Marlina Perdana. 2011. Analisis Komparatif Usahatani Tumpangsari Jagung dan Kacang Tanah dengan Monokultur Jagung di Kabupaten Wonogiri. Tersedia di: <https://eprints.uns.ac.id/5992/> [Diakses 3 Oktober 2015]
- Indriati, Tri Retno, 2009. Pengaruh Dosis Pupuk Organik dan Populasi Tanaman Terhadap Pertumbuhan Serta Hasil Tumpangsari Kedelai (*Glycine Max L.*) dan Jagung (*Zea Mays L.*). Tersedia di: <http://eprints.uns.ac.id/8038/> [Diakses 3 Oktober 2015]
- Karimi, Maryam dan Homayoon Motameni. 2013. *Tasks Scheduling in Computational Grid using a Hybrid Discrete Particle Swarm Optimization*. Tersedia di: www.sersc.org/journals/IJGDC/vol6_no2/3.pdf [Diakses 18 November 2015]
- Krusienski, D. J. dan W. K. Jenkins. 2006. *A Particle Swarm Optimization – Least Mean Squares Algorithm for Adaptive Filtering*. Tersedia di: ieeexplore.ieee.org/iel5/9626/30419/0139128.pdf [Diakses 3 Oktober 2015]
- Soemarno. 2013. Pupuk dan Pemupukan Ramah Lingkungan. Malang: Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Su, Te-Jen, Jui-Chuan Cheng dan Yang-De Sun. 2011. *Particle Swarm Optimization with Time-Varying Acceleration Coefficients Based on Cellular Neural Network for Color Image Noise Cancellation*. Tersedia di: https://www.thinkmind.org/download.php?articleid=icdt_2011_5_40_20032 [Diakses 26 November 2015]

Sutedjo, Mul Mulyani. 1989. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Daerah Khusus Ibukota Jakarta: Rineka Cipta.

Wati, Dwi Ana Ratna dan Yuli Agusti Rochman. 2013. *Model Penjadwalan Matakuliah Secara Otomatis Berbasis Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)*. Tersedia di: <http://journal.unpar.ac.id/index.php/jrsi/article/download/333/317> [Diakses 26 November 2015]

