**Modifikasi Kombinasi Particle Swarm Optimization dan Genetic Algorithm untuk Permasalahan Fungsi Non-Linier**

**Muchamad Kurniawan1, Nanik Suciati2**

1,2Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi,

Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

Email: 1muchamad.kurniawan13@mhs.if.its.ac.id

*Abstract. Particle Swarm Optimization (PSO) is the population-based optimization algorithm and the generation of random values. The deficiency of the PSO algorithm is prematurely convergent, meaning it quickly finds solutions to local solutions. PSO tidak mampu untuk mencari ruang solusi lebih luas. PSO can not afford to search for wider solution space. In this study modification of the combination of PSO with Genetic Algortihm (GA) or we call M-PSOGA. The advantage of GA taken is to find a wider solution space. M-PSOGA is evaluated on non-linear function problem. The results obtained by M-PSOGA produce the best solution from its predecessor method, PSO and PSOGA. Better on the results of the solutions obtained and the convergent velocity on global solutions.*

*Keywords: Particel Swarm Optimization, Genetic Algorithm, Non-Linier Function.*

*Abstrak. Particle Swarm Optimization (PSO) adalah algoritma optimasi yang berbasiskan populasi dan pembangkitan nilai acak. Kekurangan algortima PSO adalah konvergen prematur, artinya cepat menemukan solusi pada solusi lokal. PSO tidak mampu untuk mencari ruang solusi lebih luas. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi dari kombinasi PSO dengan Genetic Algortihm (GA) atau kita sebut M-PSOGA. kelebihan GA yang diambil adalah menemukan ruang solusi yang lebih luas. M-PSOGA dievaluasi pada permasalah fungsi non-linier. Hasil yang diperoleh M-PSOGA menghasilkan solusi terbaik dari metode pendahulunya, PSO dan PSOGA. Lebih baik pada hasil solusi yang diperoleh dan kecepatan konvergen pada global solusi.*

*Kata Kunci: Particel Swarm Optimization, Genetic Algorithm, fungsi Non-Linier.*

**1. Pendahuluan**

 Algoritma optimasi adalah algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah optimasi. Permasalah optimasi yang umumnya diselesaikan antara lain permasalahan traveling salesman problem (TSP), penjadwalan, cew sheduling, penjadwalan proyek dengan sumberdaya terbatas, fungsi non-linier, fungsi dengan pembatas dan lain-lain. Dalam permasalahan fungsi linier terdapat dua solusi, lokal solusi dan global solusi. lokal solusi adalah solusi yang terjadi hanya di daerah tertentu, sedangkan didaerah yang lain terdapat solusi yang lain. Global solusi adalah solusi terbaik dari seluruh area pencarian. Solusi yang diharapkan dari permasalah fungsi non-linier adalah menemukan global solusi. untuk menyelesaikan fungsi non-linier dapat diselesaikan dengan algortima optimasi klasik dan algortima optimasi metaheuristik. optimasi klasik pada umumnya menggunakan pendekatan analitik (santoso, 2011). Algortima metaheuristik adalah algoritma dengan pendekatan yang berbeda dengan pendekatan optimasi klasik. Pendakatan yang umumnya digunakan adalah dengan berbasiskan populasi dan berbasiskan nilai acak. Hasil yang diperoleh dipengaruhi oleh hasil terbaik individu dan dari nilai individu-individu yang lain.

 Particle swarm optimazation (PSO) merupakan algoritma optimasi metaheuristik, berbasiskan populasi dan pembangkitan individu menggunakan nilai acak. PSO dikemukan pertama kali oleh Eberhart dan Kennedy (1995). Pada PSO, setiap populasi terdiri dari partikel-partikel, dan setiap partikel terbang menjelajahi ruang solusi yang tersedia dengan kecepatan yang mana kecepatan selalu berubah berdasarkan posisi terbaik partikel (*Pbest*) itu sendiri dan dari posisi terbaik semua partikel (*Gbest*). Shi dan Eberhart (1998) menyebutkan bahwa PSO memiliki beberapa karakteristik yaitu *robust* dan cepat dalam menyelesaikan permasalahan non-linier, namun masih perlu dilakukan banyak penelitian untuk memperbaiki kekurangan pada PSO. Pada beberapa penelitian, Ai-Qin, dkk (2009), Yang, dkk (2007), Yang dan Tsai (2011), Gang, dkk (2011) dan Wang, dkk (2011) menyatakan bahwa algoritma PSO terlalu cepat konvergen pada ruang solusi lokal optimal atau biasa disebut dengan *prematur konvergen*. Ketika Algortima PSO sudah mendekati pada solusi akhir maka algoritma tidak akan mampu menemukan ruang solusi yang baru. Hal ini yang memungkinkan PSO terjebak dalam menemukan ruang solusi lokal optimal.

Untuk menemukan ruang solusi yang baru beberapa penelitian menggabungkan PSO dengan *Evolutionary Algorithm* yang lain. Ling, dkk (2012) menggunakan operasi *cross-mutated* untuk mendapatkan individu yang baru. Operasi *cross-mutated* ini adalah perkembangan dari operasi pada GA, *crossover* dan *mutated.* Hasil yang didapatkan metode yang diusulkan mendapatkan hasil yang lebih baik dari PSO standart. Kuo,dkk (2010) juga melakukan penelitian dengan mengabungkan operasi PSO dengan operator yang ada di genetic algortihm (GA), metode *hybrid* ini digunakan untuk memperbaiki metode *clustering.* Pada penelitian tersebut populasi yang telah dievaluasi oleh PSO akan dibagi menjadi dua populasi. Masing-masing populasi dilakukan operasi-operasi yang berbeda, tetapi operasi-operasi itu didasarkan pada operasi GA. Metode yang diusulkan pada penelitian tersebut memiliki hasil yang lebih baik dan lebih cepat konvergen dibandingkan dengan *clustering* berdasarkan GA dan PSO. Chang, dkk (2013) mengabungkan PSO dan GA menjadi metode *hybrid* untuk optimasi sumber air di Tiongkok. Hasilnya dibandingkan dengan standart GA dan standart PSO adalah lebih bagus algoritma *hybrid* yang diusulkan.

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, PSO dan GA mempunyai kekurangan dan kelebihan. Kekurangan PSO adalah tidak dapat melakukan pencarian pada ruang solusi lebih luas. PSO mempunyai kelebihan dengan sedikit parameter *tuning,* cepat konvergen, dan mudah digunakan. Kekurangan GA adalah komputasional yang mahal dan lama menjadi konvergen karena GA mempunyai fungsi-fungsi untuk dievaluasi seperti seleksi induk, kawin silang, dan mutasi. Sedangkan kelebihan GA yaitu individu-individu yang terbentuk dapat melakukan pencarian pada ruang solusi lebih luas. Pada algoritma yang diusulkan oleh Chang,dkk (2013) menggabungkan kelebihan dari dua algoritma tersebut.

Analisa terhadap alur kerja kombinasi PSOGA yang diusulkan oleh Chang, dkk (2013) adalah individu-individu yang terbentuk dari algoritma ini kemungkinan mempunyai hasil yang lebih jelek dari individu-individu yang terbentuk pada operator PSO. Ini disebabkan karena individu-individu yang terbentuk di GA akan menggantikan individu-individu yang ada di PSO. Sedangkan, individu-individu yang terjadi di GA kemungkinan mempunyai hasil yang tidak lebih bagus dari individu-individu PSO. Hal ini menyebabkan kerugian, karena individu yang sudah bagus kemungkinan akan tergantikan dengan individu yang lebih jelek.

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan maka usulan kontribusi penelitian ini adalah dengan modifikasi dari kombinasi PSOGA. Algoritma tersebut akan digunakan untuk menyelesaikan masalah fungsi non-liner. Fungsi-fungsi non-linier yang digunakan untuk mengevaluasi metode adalah Rastrigin, Rosenbrock, dan De Jong.

Bagian-bagian dari penelitian ini adalah sebagai berikut: Bab 2 membahas tentang landasan teori dari PSO, GA, kombinasi PSOGA. Bab 3 membahas desain dari metode yang diusulkan. Bab 4, membahas hasil dan evaluasi. Bab 5, membahas kesimpulan dan saran peneliatian.

**2. Landasan Teori**

**2.1 Particle Swarm Optimization**

*Particle swarm optimization* merupakan salah satu cabang dari algoritma evolusi. PSO didasarkan pada perilaku sebuah kawanan burung atau ikan. Dimana sebuah kawanan tidak mempunyai pemimpin untuk menemukan makanan jadi mereka akan menyebar secara acak untuk menemukan letak makanan. Algoritma ini didasarkan dari perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lainya.

Pada algoritma PSO ini, pencarian solusi dilakukan oleh suatu populasi yang terdiri dari beberapa partikel. Populasi dibangkitkan secara random dengan batasan nilai terkecil dan nilai terbesar. Setiap partikel mempresentasikan posisi dan lokasi dari permasalahan yang dihadapi. Setiap partikel melakukan pencarian solusi yang optimal dengan kecerdasan pengalaman individu itu dengan melintasi dimensi ruang pencarian *search space* D. Hal ini dilakukan dengan cara setiap partikel melakukan penyesuaian terhadap posisi terbaik dari pertikel tersebut (*local best*) dan penyesuaian posisi partikel terbaik dari nilai terbaik dari seluruh kawanan (*global best*) selama melintasi ruang pencarian. Pada setiap iterasi, setiap solusi yang direpresentasikan oleh posisi partikel, dievalusi kinerjanya dengan cara memasukkan solusi tersebut kedalam *fitness function.* Setiap partikel diperlalkukan seperti sebuah titik pada suatu dimensi ruang tertentu. Kemudian terdapat dua factor yang memberikan karakter terhadap status pertikel pada ruang pencarian yaitu posisi *X* dan kecepatan *Y* partikel disampaikan oleh Kennedy dan Eberhart (1995).

Berikut ini adalah persamaan yang mengambarkan posisi dan kecepatan :

 (1)

 (2)

Dimana *X* adalah posisi partikel. *V* adalah kecepatan partikel. *i* dan *t* adalah index partikel dan iterasi ke-t, pada dimensi ruang N. Berikut ini merukapan model matematika yang mengambarkan mekanisme perbaikan status partikel

 (3)

 (4)



**Gambar 1. Algoritma PSO**

 = ,, ...., mempresentasikan *local best* dari partikel ke-i. Sedangkan = ,, ..., mempresentasikan *global best* dari seluruh kawanan. dan adalah suatu konstanta yang bernilai positif yang biasa disebut dengan *learning factor.* dan adalah suatu bilangan random positif bernilai antara 0 dan 1. adalah parameter inersia. Persamaan (2.20) digunakan untuk mendapatkan kecepatan partikel baru berdasarkan kecepatan sebelumnya, jarak antara posisi saat ini dengan posisi terbaik partikel *(local best)*, dan jarak saat ini dengan posisi terbaik kawanan (*global best*). Kemudian partikel terbang menuju posisi yang bari berdasarkan Persamaan 2.21. Alur kerja dari PSO dapat dilihat pada Gambar 2.4

**2.2 Genetic Algorithm**

*Genetic Algorithm* (GA) adalah algoritma genetika masuk dalam kelompok algoritma evolusi. Algoritma ini diperkenalkan pertama kali oleh Holland pada tahun 1975 dan merupakan metode yang umum digunakan untuk metode pencarian dan terinspirasi oleh populasi genetika dalam mencari solusi suatu masalah. Algortima ini juga mengikuti konsep Carles Darwin dengan teori evolusinya dimana individu yang kuat akan bertahan dari populasinya. Elemen-elemen dasar dari genetika alam adalah : seleksi alam *(natural selection)*, kawin silang *(crossover)*, dan mutasi *(mutation)*.

Seleksi alam adalah usaha untuk mempertahankan individu terbaik dengan cara menggandakan individu terbaik. Sehingga individu terbaik tidak hilang pada iterasi-iterasi selanjutnya. Operator kawin silang digunakan untuk membuat individu baru. Untuk membuat individu baru dibutuhkan dua buah induk. Teknik pemilihan induk yang paling sering digunakan adalah *roulet wheelt.* Operator mutasi digunakan untuk mengganti individu

Terjelek dengan individu baru. Banyak individu yang diganti bergantung pada parameter rasio mutasi.

**3. Rancangan Metode**

 Pada bagian ini menjelaskan rancangan metode dari penelitian ini. Rancangan metode ini digambarkan dengan alur kerja pada Gambar 2. Penjelasan alur kerja tersebut seperti berikut:

**Gambar 2. Alur Kerja Modifikasi Kombinasi PSOGA**

*modifikasi*

1. Inisialisasi parameter PSO (inersia) dan parameter GA (rasio kawin silang dan rasio mutasi).
2. Perbarui Pbest dan Gbest.
3. Perbarui kecepatan dan posisi setiap individu menggunakan Persamaan 2.2
4. Dengan kecepatan baru yang didapat, perbarui posisi setiap individu menggunakan Persamaan 2.3
5. Tentukan nilai k2. Formulasinya adalah k1 + k2 = 1. Dalam literatur yang ditulis oleh Chang,dkk (2013) nilai yang digunakan pada k2 adalah 0 sampai 1, dan nilai k2 akan berubah secara *discrement.* k1 adalah rasio jumlah individu/partikel yang akan dirubah berdasarkan operator dalam PSO. Dan k2 rasio adalah jumlah individu/partikel yang akan dirubah dengan operator GA. PbestPSO adalah individu-individu yang tidak dilakukan operasi GA. PbestGA adalah individu-individu yang akan dilakukan operasi GA
6. GA operator. Berdasarkan partikel yang berpindah maka dilakukan proses sebagai berikut untuk mendapatkan *Pbest*GA2*.*
7. Langkah pertama adalah proses seleksi untuk mendapatkan individu terbaik, selanjutnya akan menjadi induk. Untuk memepertahankan individu terbaik maka individu terbaik akan dibuat duplikat dan akan mengantikan satu individu atau individu-individu yang lain.
8. Langkah kedua adalah proses pembuatan roda lotere untuk pemilihan induk dan Proses kawin silang menggunakan teknik kawin silang aritmatik.

Pada langkah ini terdapat parameter *crossover rate* (Cr)*.* Nilai Cr akan dibandingkan dengan nilai acak. Jika nilai Cr lebih besar dari nilai acak maka proses kawin silang akan menghasilkan individu baru berdasarkan induk yang telah dipilih. Jika nilai Cr lebih kecil dari nilai acak maka induk yang terpilih akan mengantikan individu tersebut.

1. Langkah yang terakhir adalah mutasi. Banyaknya mutasi bergantung dengan parameter rasio mutasi. Jika ada individu yang mengalami mutasi. maka nilai-nilai pada populasi akan digantikan dengan bilangan acak.
2. Setelah mendapatkan PbestGA1 dan PbestGA2 maka yang akan dilakukan adalah pemilihan individu. PbestGA adalah hasil *sorting* terbaik dari PbestGA1 dan PbestGA2.
3. Pbest adalah pengabungan dari PbestPSO dan PbestGA.
4. Evaluasi nilai fitness dari Pbest.
5. Jika sudah memenuhi kriteria pemberhentian atau maksimum iterasi maka didapatkan nilai individu terbaik, jika tidak maka kembali lagi pada langkah 2.

**4. Hasil dan Evaluasi**

Untuk mengevaluasi algortima modifikasi kombinasi PSOGA digunakan fungsi non-linier yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

Fungsi Rosenbrock:

Fungsi Generalized Rastrigin :

Fungsi De Jong :

Parameter setiap fungsi dapat dilihat pada Tabel 1, pada tiper fungsi terdapat dua jenis, unimodal dan multimodal. Ruang pencarian adalah batas domain nilai untuk dilakukan pencarian nilai terbaik, dan nilai optimal dari setiap fungsi adalah nilai terbaik yang didapatkan dengan fungsi fitness adalah 0.

Tabel 1. Parameter Fungsi

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nama Fungsi** | **Tipe** | **Ruang pencarian** | **Nilai optimal = 0** |
| Rosenbrock | Unimodal |   | 1 |
| Rastrigin | Multimodal |   | 0 |
| De Jong | Unimodal |   | 1.6667 |



**Gambar 3. *Plotting* Fungsi Rastrigin 2 dimensi**



**Gambar 4. *Plotting* Fungsi Rastrigin 3 dimensi**



**Gambar 5. *Plotting* Fungsi Rosenbrock**

 Pada fungsi Restrigin mempunyai tipe multimodal, artinya terdapat lebih dari satu solusi, atau diasa disebut lokal optimal seperti pada Gambar 3. Nilai optimal dari fungsi ini adalah 0,0 untuk menghasilkan nilai fitness 0, nilai ini disebut solusi global. Gambar 5 adalah *plotting* dari fungsi Rosenbrock yang mempunyai tipe unimodal artinya satu solusi terbaik. Pada gambar tersebut nilai terbaik adalah pada warna biru gelap, atau x=1 dan y=1. Fungsi De Jong mempunyai tipe sama dengan Rosenbrock hanya mempunyai satu solusi seperti pada Gambar 5.

 Hasil dari uji coba penelitian ini disajikan pada Tabel 2. Terdapat tiga algortima yang dibandingkan, standart PSO (PSO), kombinasi PSOGA yang diusulkan oleh Chang 2013 (PSOGA), modifikasi kombinasi dari PSOGA (M-PSOGA). Pada Fungsi Rosenbrock dengan 10 partikel M-PSOGA dapat menemukan solusi global dengan rata iterasi yang dilakukan 969, dibandingkan dengan PSOGA dan PSO yang tidak mampu menemukan solusi global. Dengan 20 partikel semua algoritma mendapatkan hasil solusi global dan algoritma dengan konvergen tercepat adalah M-PSOGA.



**Gambar 6. *Plotting* Fungsi De Jong**

 Pada Fungsi multimodal Rastrigin, M-PSOGA lebih unggul dibandingkan dengan algoritma pendahulunya, baik dari menemukan solusi global dan kecepatan konvergen. Dengan 10 partikel semua algortima tidak mampu menemukan solusi global. M-PSOGA mempunyai nilai terbaik dengan rata-rata nilai fitness 0,331653019 dengan 537 iterasi. Rata fitness terbaik untuk 20 partikel hanya M-PSOGA yang memperoleh solusi global untuk setiap percobaan, dengan 30 partikel semua algortima dapat menemukan solusi global dan M-PSOGA mempunyai iterasi paling sedikit untuk mendapatkan itu dengan rata 215 iterasi.

 Hasil yang sama diperoleh dari uji coba dengan fungsi De Jong. M-PSOGA mempunyai hasil terbaik, baik dari kemampuan untuk menemukan global solusi dan kecepatan konvergen. Pada fungsi ini hanya PSOGA yang tidak semua uji cobanya menemukan global solusi. PSO dan M-PSOGA dalam semua uji coba dapat menemukan solusi global tetapi M-PSOGA lebih unggul dari jumlah iterasi yang dibutuhkan.

**5. Kesimpulan dan Saran**

 Dari serangkaian uji coba yang dilakukan algoritma yang diusulkan M-PSOGA memperoleh hasil yang lebih baik dari algortima pendahulunya PSO dan PSOGA. Keunggulan algortima ini dalam dapat menemukan solusi global pada fungsi non-linier. Algoritma ini mampu untuk memperbaiki kelemahan PSO yaitu konvergen prematur. Pada fungsi Rosenbrock dan Rastragin ketika partikel hanya sedikit (10 partikel), PSO cepat konvergen pada solusi lokal, sedangkan M-PSOGA cepat konvergen pada solusi global. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah Modifikasi Kombinasi PSOGA mampu menemukan solusi terbaik untuk permalan fungsi non-linier dengan jumlah iterasi yang paling cepat.

 Saran dari penelitian ini adalah algoritma yang diusulkan belum diuji cobakan pada bidang atau aplikasi yang lain. Diharapkan terdapat penelitian-penelitian serupa untuk mengevaluasi algortima ini pada berbagai permasalahan dan aplikasi.

**Tabel 2. Hasil Uji Coba**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Fungsi** | **Algoritma** | **Jumlah Partikel** | **Rata(fitness)** | **Fitness Terbaik** | **Iterasi** |
| Rosenbrock | PSO | 10 | 0,000347216 | 3,69E-10 | 2000 |
|   | PSOGA | 10 | 3,16412E-13 | 4,36E-16 | 1196 |
|   | M-PSOGA | 10 | 0 | 0 | 969 |
|   | PSO | 20 | 4,81379E-27 | 0 | 858 |
|   | PSOGA | 20 | 0 | 0 | 548 |
|   | M-PSOGA | 20 | 0 | 0 | 548 |
|   | PSO | 30 | 0 | 0 | 803 |
|   | PSOGA | 30 | 0 | 0 | 537 |
|   | M-PSOGA | 30 | 0 | 0 | 537 |
| Rastrigin | PSO | 10 | 1,326612076 | 9,95E-01 | 875 |
|   | PSOGA | 10 | 0,497479529 | 0 | 1098 |
|   | M-PSOGA | 10 | 0,331653019 | 0 | 503 |
|   | PSO | 20 | 0,331653019 | 0 | 915 |
|   | PSOGA | 20 | 1,03528E-05 | 0 | 902 |
|   | M-PSOGA | 20 | 0 | 0 | 215 |
|   | PSO | 30 | 0 | 0 | 803 |
|   | PSOGA | 30 | 0 | 0 | 418 |
|   | M-PSOGA | 30 | 0 | 0 | 215 |
| De Jong | PSO | 10 | 0 | 0 | 492 |
|   | PSOGA | 10 | 2,18052E-05 | 4,35E-18 | 1247 |
|   | M-PSOGA | 10 | 0 | 0 | 497 |
|   | PSO | 20 | 0 | 0 | 634 |
|   | PSOGA | 20 | 3,87035E-30 | 7,74E-30 | 1621 |
|   | M-PSOGA | 20 | 0 | 0 | 410 |
|   | PSO | 30 | 0 | 0 | 492 |
|   | PSOGA | 30 | 0 | 0 | 868 |
|   | M-PSOGA | 30 | 0 | 0 | 364 |

**Referensi**

Chang, Jian-Xi., Bai,Tao., Huang, Qiang., Yang, Da-Wen., (2013), “Optimization of Water Resources Untilization by PSO-GA”, Springer Jurnal *Water Resour Manage* hal.3535-3540.

Gang, Ma., Wei, Zhou., (2012), “A novel particle swarm optimization algorithm based on particle migrasion”, ELSEVIER, Applied Mathematics and Computation 218 (2012) 6620–6626.

J. Kennedy and Eberhart, Russell. (1995), “Particle Swarm Optimization”, IEEE, *Internatinal Conference on Neural Network, 1995*.

Yang, Xueming., Yuan, Jinsha., Yuan., Jiangye., Mao., Huina. (2007), “A modiﬁed particle swarm optimizer with dynamic adaptation”, ELSEVIER, *Applied Mathematics and Computation* 189 (2007) 1205–1213.

Yang, Cheng-Hong., Tsai, Sheng-Wei., Chuang, Li-Yeh. (2011), “A Modified Particle Swarm Optimization for Global Optimization”, *International Journal of Advancements in Computing Technology Volume* 3, Number 7, August 2011.

Wang, Hui., Sun, Hui., Li, Changhe., Rahnamayan, Shahryar., Pan, Jeng-shyang. (2012), “Diversity enhanced particle swarm optimization with neighborhood search”, ELSEVIER, Information Sciences 223 (2013) 119–135.

Santoso, Budi., Willy,Paul. (2011), *Metoda Metaheuristik konsep dan implementasi* ,Guna Wijaya,Surabaya.

Rini, Dian Palupi., Shamsuddin, Siti Mariyam., Yuhanis, Sophiayati Yuhanis. (2014), “Particle Swarm Optimization for ANFIS Interpretability and Accuracy”, Springer Jurnal Soft Computing.

Ling, Sai Ho., Nguyen, Hung T., Leung, Frank H.F., Chan, KitYan., Jiang, Frank., (2012), “Intelligent Fuzzy Particle Swarm Optimization with Cross-Mutated Operasion”, IEEE, WCCI *World Congress On Computer Intelligence* June 2012, Brisbane Australia.