

Algoritma Evolusi untuk Masalah Optimasi

Aisyah Herawati ^{a,1}, Amalia ^{a,2}, Dimas Kiki Setiadi ^{a,3}, Galih Wicaksono ^{a,4}, Hafidz Abdul Majid ^{a,5}

^aDepartemen Teknik Elektro dan Informatika Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No.5, Malang, 65145, Indonesia

¹aisyahhera11@gmail.com; ²amaliakakashi@gmail.com; ³dimaskiki@gmail.com; ⁴galihwicaksono@gmail.com;

⁵hafidzabdulmajid@gmail.com

ABSTRAK

ARTICLE INFO

Masalah optimasi sering muncul dalam pengambilan keputusan. Solusi optimum merupakan tujuan dari optimasi, namun penyelesaian matematis sering sulit diterapkan pada permasalahan kompleks dengan data besar. Untuk kasus kompleks, metode optimasi eksak digunakan karena mampu menghasilkan solusi lebih optimal dibanding metode lain. Meski demikian, banyak permasalahan diselesaikan menggunakan pendekatan heuristik, salah satunya algoritma evolusi yang terinspirasi dari konsep evolusi biologis. Algoritma ini mencakup algoritma genetika, evolusi multiobjek, fuzzy evolusi, evolusi strategis, dan evolusi diferensial. Masing-masing memiliki karakteristik unik dan banyak diterapkan di bidang transportasi dan pendidikan. Pemilihan algoritma evolusi yang tepat berpengaruh pada hasil optimasi. Penelitian membandingkan kelima algoritma untuk menentukan algoritma yang paling optimal di berbagai bidang, dengan hasil yang menunjukkan bahwa algoritma evolusi diferensial potensial untuk diterapkan secara luas dalam penyelesaian masalah optimasi.



Article history:

Received: 15 Desember 2024

Revised: 16 Januari 2025

Accepted: 7 Februari 2025

Keywords:

Optimasi
Solusi Optimum
Metode Heuristik
Algoritma Evolusi
Pendidikan
Transportasi

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) license.

I. Pendahuluan

Dalam melakukan fase penyelesaian masalah terdapat banyak mekanisme yang dapat dilakukan untuk memperoleh hasil yang baik. Terdapat beberapa mekanisme untuk mencapai penyelesaian masalah, diantaranya : dapat dengan membandingkan algoritma yang satu dengan yang lain [1]–[3], juga dapat dengan menggabungkan algoritma atau atribut satu dengan yang lainnya [4], [5][6], [7]atau juga dengan menggabungkan antara algoritma yang satu dengan algoritma yang lainnya atau atribut yang satu dengan atribut yang lainnya[8]–[10]. Mekanisme yang dapat digunakan untuk menentukan nilai-nilai variabel keputusan untuk mendapatkan tujuan yang tepat atau yang terbaik inilah yang disebut dengan teknik optimasi atau sistem optimasi.

Umumnya sistem optimasi ini mengarah pada program teknik matematika yang membahas tentang jalannya program penelitian yang berhubungan dengan masalah-masalah yang dihadapi. Untuk hasil optimasi memungkinkan mendapatkan hasil tertinggi atau hasil terendah. Optimasi itu sendiri membutuhkan strategi yang baik untuk mendapatkan keputusan yang baik dan optimum.

Terdapat contoh penyelesaian solusi untuk masalah tertentu dalam kehidupan sehari-hari, misalnya : mencari solusi untuk mengembangkan populasi pekerja[11]. Melakukan penjadwalan alur kerja ilmiah dan cloud, penjadwalan dalam bekerja dengan batasan jumlah jam minimum dan maksimum bekerja, penjadwalan kuliah yang mencakup ketersediaan dosen dan ruangan juga karena masalah konflik kromosom, penjadwalan job shop di lingkup make to order[11]–[14]. Melakukan pemilihan penggunaan lahan yang optimal dan pemilihan calon penerima beasiswa [15], [16] . Pemilihan rute terpendek untuk mengunjungi sebuah kota.

Dari contoh penjadwalan tentang kuliah tersebut jadwal yang dibuat bertujuan untuk menghindari seorang dosen /mahasiswa memiliki jadwal lebih dari satu kelas pada jam yang bersamaan. Dalam

penyelesaian masalah diatas akan mudah dilakukan apabila memiliki ukuran data relatif kecil, apabila data berukuran besar maka akan menjadi masalah yang lebih kompleks. Untuk mendapatkan penyelesaian yang terbaik dari yang lain membutuhkan proses perhitungan yang agak panjang dengan menggunakan formulasi matematis.

Salah satu bagian dari perhitungan evolusioner yang merupakan algoritma optimasi metaheuristik berbasis populasi genetik ini disebut dengan algoritma evolusi[17]. Algoritma evolusi ini termasuk dalam mekanisme yang terinspirasi dengan proses evolusi biologi[18], [19]. Algoritma ini juga dimanfaatkan untuk mencari solusi yang mendekati terbaik[20], [21] untuk menyelesaikan semua macam masalah. Beberapa algoritma evolusi ini telah dikembangkan diantaranya ialah strategi evolusi, pemrograman evolusi dan genetika serta algoritma genetika.

II. Algoritma Evolusi

Optimasi heuristik berbasis populasi merupakan pendekatan optimasi yang meniru mekanisme populasi dalam proses pencarian solusi. Prinsip kerja algoritma evolusi didasarkan pada konsep evolusi biologis seperti seleksi, mutasi, dan reproduksi. Terdapat berbagai pengembangan algoritma evolusi, antara lain algoritma genetika, evolusi multiobjek, fuzzy evolusi, evolusi strategis, dan evolusi diferensial. Berikut penjelasan prinsip kerja algoritma serta macam-macam pengembangan algoritma evolusi.

Seperti yang kita tahu bahwa algoritma evolusi digunakan untuk melakukan proses untuk suatu populasi dari individual yang tiap individunya terdiri dari suatu kandidat solusi yang selanjutnya digunakan untuk memecahkan suatu masalah [1]–[3][22]. Beberapa komponen dilibatkan dalam proses algoritma evolusi diantaranya[23], [24], yaitu individual, fitness function, metode seleksi, operator genetik, dan populasi.

Peran individual disini yaitu sebagai kandidat solusi yang tujuannya mencari solusi untuk sebuah permasalahan yang ingin diselesaikan. Individual – individual ini akan membentuk sebuah populasi yang menggambarkan berbagai kemungkinan solusi – solusi yang nantinya akan digunakan untuk memecahkan masalah – masalah yang sedang ditangan[25], [26].

Fitness function disini digunakan untuk memeriksa atau mengevaluasi kerja individual dalam memecahkan masalah. Tujuan dari fitness function tidak lain[27] adalah untuk mengetahui kinerja dari individual apakah individual tersebut sudah baik atau belum[28]. Intinya fitness function yang baik yaitu yang bisa mengukur baik tidaknya kualitas individual sebagai suatu kandidat solusi[18].

Metode seleksi dalam evolusi algoritma digunakan untuk mekanisme dari seleksi parents dan survivor. Tujuan adanya pemilihan induk digunakan untuk membedakan beberapa individual berdasarkan kualitasnya. Jadi apabila individual tersebut memiliki kualitas yang cukup baik maka peluang individual tersebut untuk terpilih semakin tinggi juga[29], [30]. Begitu juga pada pemilihan survivor, hanya saja berbeda pada tahapannya.

Operator genetik disini berperan untuk menciptakan suatu individual baru yang dilihat dan dihasilkan dari parentnya. Intinya yaitu untuk menciptakan kandidat solusi yang baru untuk pemecahan solusi berikutnya[31], [4].

Populasi biasanya sering kita tahu sebagai kumpulan dari individual. Peran populasi sendiri, menjadi gambaran dari segala kemungkinan solusi yang ada[32].

Algoritma evolusi adalah sebuah teknik optimasi yang prinsip kerjanya meniru bahkan hampir sama dengan proses evolusi biologi[33]. Jadi intinya terdapat beberapa individual yang membentuk sebuah populasi, dimana dalam populasi tersebut ada yang memiliki peran sebagai induk (parent) dan ada juga yang menjadi keturunan (offspring) yang diperoleh dari parent. Individu tersebut akan ada yang berevolusi berdasarkan lingkungan sekitar dan akan mengalami seleksi alam, dimana nanti akan dihasilkan individu – individu yang terbaik yang pastinya akan memiliki peluang untuk menghasilkan atau menciptakan berbagai keturunan yang unggul juga[26], [34]. Selain itu ada juga dari individual yang dijadikan panduan penyelesaian solusi selain dari parentnya[35]. Jadi perkembangan generasi ke generasi akan terus berkembang dan menjadi lebih baik[19]. Untuk lebih gampangnya dapat dilihat pada flowchart Gambar 1.



Gambar 1 Flowchart Algoritma Evolusi

Dalam algoritma evolusi, individu – individu yang membentuk populasi menggambarkan berbagai solusi yang akan diselesaikan. Lalu fitness function yang tugasnya berguna untuk melakukan pengukuran kualitas tiap individu yang baik. Hasilnya akan ditemukan individu terbaik yang pastinya akan dipilih untuk menyelesaikan sebuah permasalahan dengan cara – cara yang terbaik pula[36].

Terdapat beberapa pengembangan algoritma evolusi yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya, sebagai berikut :

1. Algoritma Genetika

Algoritma genetika merubakan sub-bagian cabang dari Algoritma evolusi yang merupakan metode yang adaptif dengan terdapat fungsi yang berguna menyelesaikan suatu masalah yang optimasi. Algoritma genetika mungkin tidak selalu mencapai hasil akhir terbaik, tetapi pada umumnya menyelesaikan suatu masalah dengan cukup baik dan efektif [37], [38]. Algoritma ini didasari pada proses genetik yang diadaptasi dari makhluk hidup; atau perkembangan generasi pada poppulasi alami dan lambat laun mengikuti prinsip yaitu “yang terkuat , dia yang akan bertahan” diatas merupakan prinsip dari seleksi alam[39]. Maka dari itu algoritma ini di implementasikan untuk mencari solusi pada dunia nyata.

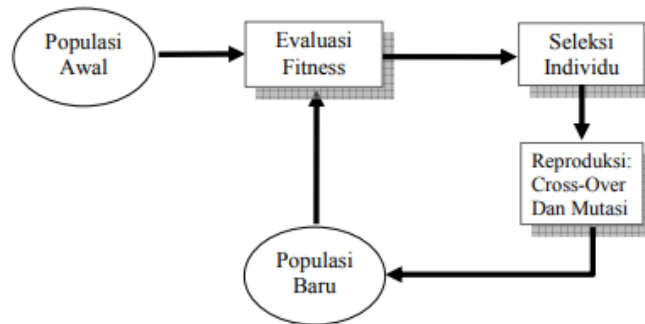
Dari pertahan yang tinggi dari setiap individu dapat memberikan kesempatan untuk melakukan perkawinan silang dengan individu lainnya yang termasuk dalam populasi tersebut. Dengan cara ini bebrapa generasi yang memiliki karakteristik yang bagus akan bermuculan dalam populasi tersebut dan kemudian akan dicampurkan atau ditukar dengan karakter lainnya. Dengan menggunakan cara ini akkan menghasilkan banyak individu baru dan apabila semakin banyak maka akan ditemukan kemungkinan terbaik yang akan didapat.

Sebelum menjalankan Algoritma maka kode yang sesuai (representatif) dari persoalan harus dibuat dan diubah dalam bentuk kode dalam bentuk String yang terdiri dari genetik yang terkecil dan dapat disebut dengan gen. Dalam penerapannya disini Algoritma Genetika ini melibatkan operator yaitu antara lain

- Operasi Evolusi yang masih ada hubungan seleksi di dalamnya
- Operasi Genetika dengan penggunaan operator pindah silang atau mutase[40].

Beberapa hal yang harus dikerjakan untuk algoritma genetika yang harus dilakukan

- Mendefinisi suatu individu
- Mendefinisi suatu nilai fitness tersebut
- Memberikan proses pembangkitan nilai awal
- Menentukan proses seleksi untuk algoritma evolusi
- Mutasi suatu gen



Gambar 2 Siklus Algoritma Genetika

2. Algoritma Evolusi Diferensial

Algoritma Evolusi Differensial merupakan salah satu algoritma evolusioner yang memiliki performa lebih baik daripada algoritma evolusioner antara lain yaitu Algoritma genetika. Keunggulan dari Algoritma evolusi differensial adalah pada evolusi yang dilakukan ini setiap individu yang terdapat di suatu populasi yang dimana diferensiasi dan cross over ini terjadi secara urut antara satu sama yang lain pada setiap individu yang terpilih secara acak dari populasi pada setiap waktu[25]. Parameter dari suatu cross over[41], [7] dilakukan pergantian untuk memberikan pengaruhnya pada proses komputerisasi tersebut. Hasil pengujian menampilkan parameter cross over mana yang paling baik untuk penggunaan diferensiasi evolusi untuk permasalahan yang lebih kompleks untuk pemilihan portofolio ini baik dari sisi waktu perhitungan maupun solusi yang telah dihasilkan[42], [43].

3. Algoritma Evolusi Multiobjek

Algoritma Multi-objek merupakan Algoritma yang penggunaannya sebagai teknik optimalisasi dengan cara bersamaan. Dengan solusi optimal ini menjadi berbeda dengan strategi yang lain. Algoritma evolusioner multi objek yang dapat diimplementasikan untuk banyak masalah mengenai optimasi multi-objek nonlinier yang diajukan [44]. Dalam memecahkan masalah ada kendala dan menimbulkan solusi optimal yang dapat diimbangi. Dengan menggunakan pendekatan berbasis populasi dimana terdapat lebih dari 1 solusi dan menghasilkan populasi solusi baru dalam setiap iterasi. Teknik evolusi multi-objek dengan menggunakan front Pareto yang diamati yang ditentukan oleh aljabar evolusioner memiliki solusi yang lebih baik dengan solusi nondominated yang lebih mungkin banyak bila dibandingkan dengan menggunakan teknik multi-objective klasik[45]. Dengan algoritma evolusi multiobjek itu menghasilkan sebuah solusi optimal untuk pemrosesan yang lebih lanjut dan tepat[46],[47]. Dengan penggunaan populasi dalam iterasi membantu algoritma multi-objek yang secara simultan menemukan solusi yang tidak mendominasi[48]

4. Algoritma Fuzzy Evolusi

Algoritma tersebut merupakan sebuah teknik perhitungan penggabungan antara sistem fuzzy dan algoritma genetika[48]. Sama seperti algoritma genetika akan tetapi parameter-parameter yang dihasilkan dari system fuzzy tersebut dan berikut merupakan tahapan-tahapan yang ada pada evolusi fuzzy ini:

- Representasi kromosom
- Inisialisasi Populasi
- Fungsi Evaluasi.
- Penyeleksian
- Operator Genetika, yang mencakup operator rekombinasi dan mutasi
- Dengan menentukan parameter, yaitu parameter control yang bersumber dari algoritma genetika dengan hasil suatu ukuran populasi, peluang cros sover, peluang mutasi[49]

Maka dari itu dilakukan proses system fuzzy untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan sebagai parameter tersebut.

5. Algoritma Evolusi Strategi

Representasi solusi biasanya menggunakan vector yaitu vector bilangan pecahan. Dengan menyelesaikan masalah menggunakan mekanisme Self-adaption yang digunakan sebagai pengontrol perubahan pada nilai parameter pencarian. Algoritma evolusi strategi[50] ini memiliki kelebihan yaitu bersifat adaptif dan cocok pada masalah optimasi numerik[51] Pada ES [52] terdapat parameter-parameter strategi berupa mutation step size dan sudut-sudut rotasi dimana parameter-parameter tersebut dapat menyesuaikan diri (self adaption) terhadap keadaan yang terjadi melalui proses evolusi[26], [34], [52], [53], [6]. Berbeda dengan algoritma genetika yang hanya dapat mengevolusi genotype parameter pada evolusi strategi ini terus melakukan seperti halnya genotype[54]. Melalui parameter strategi in algoritma evolusi strategi ini melakukan adaptasi, serta mengendalikan mutase tersebut. Hal ini mengakibatkan pergerakannya bervariasi karena tidak terpaku pada parameter strategi awal[55]. Evolusi parameter strategi[56], [57][58] tersebut dapat mempermudah proses pencarian solusi tersebut dengan kecepatan yang tinggi. Perubahan kecil pada parameter-parameter strategi tersebut akan menghasilkan efek-efek yang kecil begitu juga sebaliknya[35].

III. Penerapan Algoritma Evolusi

Algoritma evolusi dapat digunakan di pendidikan, transportasi dan bidang kesehatan. Di bidang pendidikan, masalah penjadwalan perkuliahan bisa dipecahkan melalui algoritma evolusi dan juga masalah penerimaan beasiswa[59],[60],[61]. Permasalahan rute terbaik dari jalur kendaraan juga dapat dipecahkan dengan algoritma evolusi Di bidang kesehatan, metode ini bermanfaat untuk membuat jadwal masuk kerja tenaga medis pada suatu rumah sakit [62],[43].

Pada bidang pendidikan, penjadwalan perkuliahan[63] bisa dipecahkan melalui algoritma evolusi yang dikombinasikan algoritma fuzzy[64], [65]. Proses tahapan yang berada dalam algoritma evolusi yaitu representasi kromosom, inisialisasi pada populasi, fungsi untuk evaluasi, seleksi[17], penentuan operator genetika dan operator genetika[66]. Selain untuk penjadwalan perkuliahan, algoritma evolusi dapat bermanfaat untuk masalah penerimaan beasiswa[67].

Seringkali pemberian beasiswa tidak sampai dengan orang yang berhak seperti mahasiswa kurang mampu. Dengan algoritma evolusi yang dikombinasikan dengan Fuzzy Analytical Hierrachy Process (AHP) bisa menyelesaikan permasalahan ini[68].

Tahapan dalam penentuan keputusan menggunakan algoritma AHP sebagai berikut yaitu [42]:

- Pengidentifikasian suatu permasalahan dan juga solusinya
- Menentukan prioritas elemen
- Sintesis
- Mengukur sebuah konsistensi
- Kemudian Consistency Index dihitung
- Rasio Konsistensi dihitung
- Melihat nilai konsistensi hirarki.

Sedangkan langkah-langkah proses pencarian hasil optimum dengan evolution strategies yaitu [35], [69], [70]:

- Inisialisasi nilai awal
- Pembentukan suatu populasi baru
- Proses mutase
- Proses hitung fitness
- Proses seleksi

Pada bidang transportasi, algoritma evolusi juga bisa difungsikan untuk membuat rute atau jalur terpendek dan juga terbaik dari jalur sebuah objek dari tempat tertentu ke tempat lainnya[71], [58]. Tahapnya sama dengan tahapan algoritma genetika[72]. Pertama yaitu merepresentasi atau menentukan kromosom yang ingin digunakan. Yang kedua yaitu menginisialisasi suatu populasi[33].

Yang ketiga adalah menentukan fungsi untuk evaluasinya. Kemudian diseleksi. Setelah diseleksi kemudian ditentukan operator genetiknya[10], [50]. Dan tahap yang paling adalah menentukan parameternya[73], [74].

Berdasarkan pembahasan serta implementasi yang dijelaskan sebelumnya, diketahui bahwa kelima algoritma evolusi yaitu algoritma evolusi strategi[75], [51], [76], algoritma evolusi genetika [59], [37], [77], algoritma evolusi diferensial [44], [26], [78], algoritma evolusi multiobjek[4], [19], dan algoritma fuzzy evolusi[13], [79], [80] dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang kompleks. Hanya saja penyelesaian yang diterapkan oleh kelima algoritma evolusi berbeda. Ketepatan pemilihan algoritma evolusi dalam pencapaian solusi optimum[81], [82], [7], [83] permasalahan optimalisasi sangat diperlukan. Komparasi performa kelima algoritma evolusi dilakukan berdasarkan seringnya algoritma digunakan menyelesaikan masalah optimasi, persentase keberhasilan dari penelitian kelima algoritma evolusi sebelumnya, karakteristik kelemahan dan kelebihan kelima algoritma evolusi, serta waktu penyelesaian dalam menghasilkan solusi optimum. Peneliti memberikan saran dalam pemilihan algoritma terbaik untuk solusi maksimal dengan kriteria tersebut[84]. menunjukkan perbandingan kelima algoritma. Data perbandingan kelima algoritma evolusi[54] diambil dari 100 artikel tentang penerapan algoritma evolusi, kemudian diambil 5 artikel yang mewakili masing-masing algoritma dengan ketentuan pemilihan artikel dengan hasil tingkat keakurasian paling tinggi.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan penelitian, peneliti menyimpulkan bahwa masalah optimasi dapat terselesaikan dengan heuristik yaitu Algoritma Evolusi. Solusi optimum didapatkan algoritma evolusi dari proses seleksi. Konsep yang sama dengan seleksi alam, dimana diibaratkan dalam suatu proses mendapatkan solusi optimum sebelumnya sudah melalui proses seleksi dari beberapa solusi terbaik, sehingga muncul solusi optimum paling mendekati tujuan permasalahan. Algoritma evolusi dapat diterapkan ke dalam permasalahan di berbagai hal. Beberapa contoh penerapan algoritma evolusi sendiri adalah di bidang Pendidikan seperti untuk mengambil keputusan dalam penentuan mahasiswa yang layak untuk menerima beasiswa serta penentuan penjadwalan kuliah. Kemudian di bidang transportasi diterapkan pada penentuan rute terpendek dalam menempuh perjalanan yang diinginkan. Dari 100 artikel yang digunakan dalam penelitian, algoritma yang sering digunakan adalah algoritma evolusi genetika, algoritma evolusi multiobjek, algoritma evolusi diferensial, algoritma evolusi strategi, dan algoritma fuzzy evolusi. Pada dasarnya, kelima algoritma tersebut bisa menyelesaikan permasalahan optimasi hanya saja karakteristik mereka dalam menyelesaikan setiap permasalahan. Kelima algoritma tersebut merupakan pengembangan dari algoritma evolusi, dimana sekarang sudah sangat jarang penelitian menggunakan algoritma evolusi, karena dari 100 artikel yang peneliti gunakan sebagai data penelitian sebagian besar sudah menggunakan algoritma pengembangan evolusi daripada algoritma evolusi. Dan juga, di satu sisi terdapat algoritma genetika evolusi yaitu salah satu pengembangan algoritma evolusi yang terkenal.

Daftar Pustaka

- [1] D. V. Medhane and A. K. Sangaiah, "Search space-based multi-objective optimization evolutionary algorithm," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 58, pp. 126–143, 2017.

- [2] L. Cui, P. Ou, X. Fu, Z. Wen, and N. Lu, "A novel multi-objective evolutionary algorithm for recommendation systems," *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 103, pp. 53–63, 2017.
- [3] J. Chen, V. Nair, and T. Menzies, "Beyond evolutionary algorithms for search-based software engineering," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 95, pp. 281–294, 2018.
- [4] J. Ma, J. Liu, W. Ma, M. Gong, and L. Jiao, "Decomposition-based multiobjective evolutionary algorithm for community detection in dynamic social networks," *Sci. World J.*, vol. 2014, 2014.
- [5] Y. Qi, J. Yu, X. Li, Y. Wei, and Q. Miao, "Reservoir flood control operation using multi-objective evolutionary algorithm with decomposition and preferences," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 50, pp. 21–33, 2017.
- [6] G. Caruso and J. H. Kämpf, "Building shape optimisation to reduce air-conditioning needs using constrained evolutionary algorithms," *Sol. Energy*, vol. 118, pp. 186–196, 2015.
- [7] Y. Kadin, M. Gamba, and M. Faïd, "Identification of the hydrogen diffusion parameters in bearing steel by Evolutionary Algorithm," *J. Alloys Compd.*, vol. 705, pp. 475–485, 2017.
- [8] D. Jesenko, M. Mernik, B. Žalik, and D. Mongus, "Two-level evolutionary algorithm for discovering relations between nodes' features in a complex network," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 56, pp. 82–93, 2017.
- [9] J. de Andrade Silva, E. R. Hruschka, and J. Gama, "An evolutionary algorithm for clustering data streams with a variable number of clusters," *Expert Syst. Appl.*, vol. 67, pp. 228–238, 2017.
- [10] J. Kämpf and D. Robinson, "Optimisation of urban Energy Demand using an evolutionary Algorithm," *Ibpsa*, pp. 668–673, 2009.
- [11] X. Ye, S. Liu, Y. Yin, and Y. Jin, "User-oriented many-objective cloud workflow scheduling based on an improved knee point driven evolutionary algorithm," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 135, pp. 113–124, 2017.
- [12] B. P. M. Ida, "Sistem Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode Fuzzy Support Vector Machines dan Algoritma Evolusi Fuzzy," *Pros. Conf. Smart-Green Technol. Electr. Inf. Syst.*, no. November, pp. 14–15, 2013.
- [13] R. Marwati, K. Yulianti, and H. W. Pangestu, "Fuzzy evolutionary algorithm to solve chromosomes conflict and its application to lecture schedule problems," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1708, 2016.
- [14] L. Teylo, U. de Paula, Y. Frota, D. de Oliveira, and L. M. M. A. Drummond, "A hybrid evolutionary algorithm for task scheduling and data assignment of data-intensive scientific workflows on clouds," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 76, pp. 1–17, 2017.
- [15] I. Palogos, M. Galetakis, C. Roumpos, and F. Pavloudakis, "Selection of optimal land uses for the reclamation of surface mines by using evolutionary algorithms," *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 27, no. 3, pp. 491–498, 2017.
- [16] A. Maulida, D. Ayu, W. F. Mahmudy, and I. Cholissodin, "Optimasi Model Fuzzy Ahp Dengan Menggunakan Algoritma Evolution Strategies (Studi Kasus : Pemilihan Calon Penerima Beasiswa Ptiik Universitas Brawijaya)," *J. Mhs. PTIIK Univ. Brawijaya*, vol. 5, no. 15, 2015.
- [17] A. C. Syarif et al., "Evolusi Dan Pembobotan Distribusi Beban Kuliah," *J. Temat. VOL.2*, vol. 2, pp. 81–94, 2014.
- [18] T. J. Choi, C. W. Ahn, and J. An, "An adaptive cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization," *Sci. World J.*, vol. 2013, 2013.
- [19] N. P. Garcia-Lopez, M. Sanchez-Silva, A. L. Medaglia, and A. Chateaufneuf, "An improved robust topology optimization approach using multiobjective evolutionary algorithms," *Comput. Struct.*, vol. 125, pp. 1–10, 2013.
- [20] B. Doerr, C. Klein, and T. Storch, "Faster evolutionary algorithms by superior graph representation," *Proc. 2007 IEEE Symp. Found. Comput. Intell. FOCI 2007*, pp. 245–250, 2007.
- [21] H. Susanto and Sudiyanto, "Data Mining Untuk Memprediksi Prestasi Siswa Berdasarkan Sosial Ekonomi, Motivasi, Kedisiplinan Dan Prestasi Masa Lalu," *J. Pendidik. Vokasi*, vol. 4, no. 2, pp. 222–231, 2014.
- [22] Y. Wang, X. Chen, W. Gui, C. Yang, L. Caccetta, and H. Xu, "A hybrid multiobjective differential evolution algorithm and its application to the optimization of grinding and classification," *J. Appl. Math.*, vol. 2013, 2013.

- [23] W. Ma, X. Fan, Y. Wu, and L. Jiao, "An Orthogonal Learning Differential Evolution Algorithm for Remote Sensing Image Registration," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2014, pp. 16–22, 2014.
- [24] B. Zhu, Y. Ding, and K. Hao, "A novel automatic detection system for ECG arrhythmias using maximum margin clustering with immune evolutionary algorithm," *Comput. Math. Methods Med.*, vol. 2013, 2013.
- [25] W. Liu and X. Li, "A Problem-Reduction Evolutionary Algorithm for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem," *Int. J. Math. Math. Sci.*, vol. 2015, 2015.
- [26] W. Xiang, X. Meng, M. An, Y. Li, and M. Gao, "Research Article An Enhanced Differential Evolution Algorithm Based on Multiple Mutation Strategies," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2015, pp. 1–15, 2015.
- [27] D. Gómez-Lorente, I. Triguero, C. Gil, and O. Rabaza, "Multi-objective evolutionary algorithms for the design of grid-connected solar tracking systems," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 61, pp. 371–379, 2014.
- [28] L. Wang, H. Qu, T. Chen, and F. P. Yan, "An effective hybrid self-adapting differential evolution algorithm for the joint replenishment and location-inventory problem in a three-level supply chain," *Sci. World J.*, vol. 2013, no. Dc, 2013.
- [29] A. Dea and T. Listrik, "Koordinasi Optimal Capacitive Energy Storage (CES) dan Kontroler PID Menggunakan Differential Evolution," *J. Tek. ITS*, vol. 1, 2012.
- [30] X. Shi, L. Qiao, and Z. Zhu, "A novel hybrid discrete differential evolution algorithm for workingsteps sequencing in multi-channel turn-milling complex machining," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 11, pp. 1–14, 2015.
- [31] A. W. Mohamed, "Solving stochastic programming problems using new approach to Differential Evolution algorithm," *Egypt. Informatics J.*, vol. 18, no. 2, pp. 75–86, 2017.
- [32] X. Li and M. Yin, "Application of Differential Evolution Algorithm on Self-Potential Data," *PLoS One*, vol. 7, no. 12, pp. 1–11, 2012.
- [33] Y. Zhang, P. Lin, Z. Chen, and S. Cheng, "A Population Classification Evolution Algorithm for the Parameter Extraction of Solar Cell Models," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2016, pp. 16–18, 2016.
- [34] R. M. Alguliev, R. M. Aliguliyev, and C. A. Mehdiyev, "pSum-SaDE: A Modified p -Median Problem and Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm for Text Summarization," *Appl. Comput. Intell. Soft Comput.*, vol. 2011, pp. 1–13, 2011.
- [35] L. Cao, L. Xu, and E. D. Goodman, "A Guiding Evolutionary Algorithm with Greedy Strategy for Global Optimization Problems," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2016, 2016.
- [36] C. K. Chong, M. S. Mohamad, S. Deris, M. S. Shamsir, Y. W. Choon, and L. E. Chai, "Improved Differential Evolution Algorithm for Parameter Estimation to Improve the Production of Biochemical Pathway," *Int. J. Interact. Multimed. Artif. Intell.*, vol. 1, no. 5, p. 22, 2012.
- [37] D. A. Suprayogi and W. F. Mahmudy, "Penerapan Algoritma Genetika Traveling Salesman Problem with Time Window: Studi Kasus Rute Antar Jemput Laundry," *J. Buana Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 121–130, 2015.
- [38] R. C. Barros, M. P. Basgalupp, A. C. P. L. F. De Carvalho, and A. A. Freitas, "A survey of evolutionary algorithms for decision-tree induction," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, vol. 42, no. 3, pp. 291–312, 2012.
- [39] S. M. Corns, D. A. Ashlock, and K. M. Bryden, "Development of antibiotic regimens using graph based evolutionary algorithms," *BioSystems*, vol. 114, no. 3, pp. 178–185, 2013.
- [40] I. A. Fajarwati and W. Anggraeni, "Penerapan Algoritma Differential Evolution untuk Penyelesaian Permasalahan Vehicle Routing Problem with Delivery and Pick-up," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 2301–9271, pp. A391–A396, 2012.
- [41] B. Afshar-Nadjafi, H. Karimi, A. Rahimi, and S. Khalili, "Project scheduling with limited resources using an efficient differential evolution algorithm," *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 27, no. 2, pp. 176–184, 2015.
- [42] A. W. Mohamed, H. Z. Sabry, and T. Abd-Elaziz, "Real parameter optimization by an effective differential evolution algorithm," *Egypt. Informatics J.*, vol. 14, no. 1, pp. 37–53, 2013.

- [43] P. Shahnazari-Shahrezaei, R. Tavakkoli-Moghaddam, M. Azarkish, and A. Sadeghnejad-Barkousaraie, "a Differential Evolution Algorithm Developed for a Nurse Scheduling Problem," *South African J. Ind. Eng.*, vol. 23, no. 3, pp. 68–90, 2012.
- [44] J. L. Redondo, J. Fernandez, and P. M. Ortigosa, "FEMOEA: A Fast and Efficient Multi-objective Evolutionary Algorithm," *Math. Methods Oper. Res.*, vol. 85, no. 1, pp. 113–135, 2017.
- [45] T. Biondi, A. Ciccazzo, V. Cutello, S. D. Antona, and G. Nicosia, "Multi-Objective Evolutionary Algorithms and Pattern Search Methods for Circuit Design Problems," *J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 432–449, 2006.
- [46] K. Deb, "Multi-objective optimization using evolutionary algorithms: an introduction," *Multi-objective Evol. Optim. Prod. Des. Manuf.*, pp. 1–24, 2011.
- [47] S. Wappler and F. Lammermann, "Using evolutionary algorithms for the unit testing of object-oriented software," *Proc. 2005 Conf. Genet. Evol. Comput. - GECCO '05*, p. 1053, 2005.
- [48] D. Chakrabarti, R. Kumar, and A. Tomkins, "Evolutionary clustering," *Proc. 12th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. data Min. - KDD '06*, p. 554, 2006.
- [49] M. Georgioudakis, M. Fragiadakis, and M. Papadrakakis, "Multi-criteria selection and scaling of ground motion records using Evolutionary Algorithms," *Procedia Eng.*, vol. 199, pp. 3528–3533, 2017.
- [50] V. Nannen and A. E. Eiben, "Relevance estimation and value calibration of evolutionary algorithm parameters," *IJCAI Int. Jt. Conf. Artif. Intell.*, pp. 975–980, 2007.
- [51] R. Kurniawan, M. C. nerfia nikentari. S.T., and M. S. E. Hendra Kurniawan, S.Kom., "Optimasi Tebar Benih Dan Pakan Pada Suatu Kolam Menggunakan Algoritma Evolution Strategies," *Progr. Stud. Tek. Inform. Umr.*, no. 50, 2010.
- [52] H. R. Maier, A. C. Zecchin, L. Radbone, and P. Goonan, "Optimising the mutual information of ecological data clusters using evolutionary algorithms," *Math. Comput. Model.*, vol. 44, no. 5–6, pp. 439–450, 2006.
- [53] F. Mostofi and F. Sadikoglu, "Discovering SNP Interactions Associated with Breast Cancer Using Evolutionary Algorithms," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 102, no. August, pp. 562–569, 2016.
- [54] D. K. Tasoulis, V. P. Plagianakos, and M. N. Vrahatis, "Clustering in Evolutionary Algorithms to Efficiently Compute Simultaneously Local and Global Minima," in *2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, vol. 2, pp. 1847–1854.
- [55] H. M. Bekhit, "Sustainable groundwater management in coastal aquifer of Sinai using evolutionary algorithms," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 25, pp. 19–27, 2015.
- [56] D. Mandal, K. S. Kola, J. Tewary, V. P. Roy, and A. K. Bhattacharjee, "Synthesis of steered Flat-Top beam pattern using evolutionary algorithm," *Adv. Electromagn.*, vol. 5, no. 3, pp. 3–7, 2016.
- [57] J. Chiou, C. Chang, and C. Li, "A backtracking evolutionary algorithm for power systems," *MATEC Web Conf.*, vol. 1046, 2017.
- [58] L. Carro-Calvo, S. Salcedo-Sanz, L. Prieto, N. Kirchner-Bossi, A. Portilla-Figueras, and S. Jiménez-Fernández, "Wind speed reconstruction from synoptic pressure patterns using an evolutionary algorithm," *Appl. Energy*, vol. 89, no. 1, pp. 347–354, 2012.
- [59] E. Sugiarto, "Penjadwalan Perkuliahan Otomatis Berbasis Fuzzy logic Dan Genetic Algorithm Pada Universitas Dian Nuswantoro," *Techno.COM*, vol. 14, no. 4, pp. 315–328, 2015.
- [60] L. A. Malik, E. R. Pramudya, T. Informatika, F. Ilmu, K. Universitas, and D. Nuswantoro, "IMPLEMENTASI ALGORITMA FUZZY EVOLUSI UNTUK IMPLEMENTATION OF EVOLUTION FUZZY ALGORITHM FOR," vol. 10, no. 2, pp. 207–220, 2017.
- [61] L. Tao, T. Nguyen, and H. Hasegawa, "Model-based Pose Estimation for Texture-less Objects with Differential Evolution Algorithm," *MATEC Web Conf.*, vol. 15001, pp. 8–11, 2017.
- [62] M. S. Saad, L. N. H. Mat Deri, Z. Shayfull, S. M. Nasir, and M. Fathullah, "Parameter Estimation of Damped Compound Pendulum Using Bat Algorithm," *MATEC Web Conf.*, vol. 78, 2016.
- [63] F. H. G. Adi Chandra Syarif, "Penerapan Algoritma Evolusi Dengan Metode Generation Replacement Pada Aplikasi," *J. Temat.*, vol. 1, no. December, pp. 10–23, 2016.

- [64] A. W. Mohamed, "RDEL: Restart differential evolution algorithm with local search mutation for global numerical optimization," *Egypt. Informatics J.*, vol. 15, no. 3, pp. 175–188, 2014.
- [65] R. Marwati, "IMPLEMENTASI ALGORITMA FUZZY PERKULIAHAN," pp. 31–45.
- [66] N. N. and I. H., "Accelerating differential evolution using an adaptive local search," *Evol. Comput. IEEE Trans.*, vol. 12, no. 1, pp. 107–125, 2008.
- [67] H. Abderazek, D. Ferhat, I. Atanasovska, and K. Boualem, "A differential evolution algorithm for tooth profile optimization with respect to balancing specific sliding coefficients of involute cylindrical spur and helical gears," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 9, pp. 1–11, 2015.
- [68] X. Xu, L. Li, L. Fan, J. Zhang, X. Yang, and W. Wang, "Hybrid discrete differential evolution algorithm for lot splitting with capacity constraints in flexible job scheduling," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2013, no. 2007, 2013.
- [69] S. A. Taher and S. A. Afsari, "Optimal location and sizing of UPQC in distribution networks using differential evolution algorithm," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2012, 2012.
- [70] C. L. Lu, S. Y. Chiu, C. H. Hsu, and S. J. Yen, "Enhanced differential evolution based on adaptive mutation and wrapper local search strategies for global optimization problems," *J. Appl. Res. Technol.*, vol. 12, no. 6, pp. 1131–1143, 2014.
- [71] D. Chakraborty, W. Vaz, and A. K. Nandi, "Optimal driving during electric vehicle acceleration using evolutionary algorithms," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 34, pp. 217–235, 2015.
- [72] N. Lerma, J. Paredes-Arquiola, J. Andreu, A. Solera, and G. M. Sechi, "Assessment of evolutionary algorithms for optimal operating rules design in real Water Resource Systems," *Environ. Model. Softw.*, vol. 69, pp. 425–436, 2015.
- [73] Z. Hu, S. Xiong, Z. Fang, and Q. Su, "A convergent differential evolution algorithm with hidden adaptation selection for engineering optimization," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2014, 2014.
- [74] X. Liu, F. Bai, S. Ouyang, X. Wang, H. Li, and H. Jiang, "Cyndi: A multi-objective evolution algorithm based method for bioactive molecular conformational generation," *BMC Bioinformatics*, vol. 10, pp. 1–14, 2009.
- [75] I. A. Harun, W. F. Mahmudy, and N. Yudistira, "Implementasi Evolution Strategies untuk Penyelesaian Vehicle Routing Problem With Time Windows pada Distribusi Minuman Soda XYZ," *Repos. J. Mhs. PTIIK Univ. Brawijaya*, vol. Vol.4, No., no. 1, 2014.
- [76] A. S. Sinaga, "Pembebanan Ekonomis dengan Pengendalian Emisi pada Pembangkit Termis Menggunakan Algoritma Evolusi Diferensial," *Jnteti*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [77] C. Catania, C. Zanni-Merk, F. De Bertrand De Beuvron, and P. Collet, "A multi objective evolutionary algorithm for solving a real health care fleet optimization problem," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 60, no. 1, pp. 256–265, 2015.
- [78] D. Mandal, A. Chatterjee, and A. K. Bhattacharjee, "Design of fully digital controlled shaped beam synthesis using differential evolution algorithm," *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2013, 2013.
- [79] M. Mutingi, "A fuzzy simulated evolution algorithm for integrated manufacturing system design," *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 4, no. 2, pp. 177–190, 2013.
- [80] M. Fachrie, S. Widowati, A. T. Hanuranto, F. T. Informatika, and U. Telkom, "IMPLEMENTASI ALGORITMA FUZZY EVOLUSI UNTUK PENENTUAN POSISI BASE TRANSCEIVER STATION (BTS)," pp. 1–6, 2011.
- [81] A. Clarke and J. C. Miles, "Strategic Fire and Rescue Service decision making using evolutionary algorithms," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 50, no. 1, pp. 29–36, 2012.
- [82] M. Corn and M. Atanasijević-Kunc, "Designing model and control system using evolutionary algorithms," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 28, no. 1, pp. 526–531, 2015.
- [83] R. Ben Abdesslem, S. Nejati, T. Stifter, and S. A. Iee, "Testing Vision-Based Control Systems Using Learnable Evolutionary Algorithms," *ICSE*, 2017.
- [84] P. L. Myers and D. B. Spencer, "Application of a multi-objective evolutionary algorithm to the spacecraft stationkeeping problem," *Acta Astronaut.*, vol. 127, pp. 76–86, 2016.