

Kajian Algoritma Upgraded Artificial Bee Colony dalam Pencarian Solusi Square Jigsaw Puzzle

Syanti Irviantina¹, Pahala Sirait², Rudi Chandra³, Ricky⁴, Luis Tono⁵

STMIK Mikroskil, Jl. Thamrin No. 112, 124, 140, Telp. (061) 4573767, Fax. (061) 4567789

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Informatika, STMIK Mikroskil, Medan

*¹syanti@mikroskil.ac.id, ²pahala@mikroskil.ac.id

Abstrak

Pada penyelesaian square jigsaw puzzle, pencarian solusi untuk setiap potongan puzzle menjadi permasalahan utama. Dalam penyelesaiannya, informasi yang tersedia pada setiap potongan hanya berupa nilai red green blue (RGB). Dengan menggunakan nilai RGB, didapatkan nilai perbedaan antar potongan (fitness) yang menjadi dasar untuk menyelesaikan square jigsaw puzzle. Algoritma yang dapat diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut adalah algoritma Upgraded Artificial Bee Colony (UABC) yang belum pernah menyelesaikan permasalahan citra. Pengujian dilakukan dengan mengukur ketepatan hasil penyelesaian aplikasi, mengetahui pengaruh parameter size population (SP), maximum cycle number (MCN), modification rate for employee (MRE), dan modification rate for onlooker (MRO) pada hasil ketepatan yang diperoleh. Hasil pengujian menunjukkan algoritma UABC mampu menyelesaikan permasalahan square jigsaw puzzle dengan nilai ketepatan yang baik serta dengan meningkatkan parameter SP, MCN, MRE, dan MRO maka hasil ketepatan yang diperoleh juga semakin baik.

Kata kunci— Algoritma, Square Jigsaw Puzzle, UABC

Abstract

Search for solutions to each puzzle piece into a major problem, especially in the square jigsaw puzzle. in the settlement process, there is only information value of the RGB (Red Green Blue) on each piece and it's a difference between pieces that form the basis for completing a jigsaw puzzle square. UABC algorithm can be used to resolve the issue where the algorithm has not been used to solve the problem of image. For testing, conducted by measuring the accuracy of the results of the application, determine the effect of population size parameter (SP), the accuracy of the acquisition value of maximum cycle number. The test results show the algorithm is able to solve the problems UABC square jigsaw puzzle with good accuracy and value with an increase in the value of the parameter SP, MCN, MRE and MRO the accuracy results obtained are also getting better

Keywords— algorithm, Square Jigsaw Puzzle, UABC

1. PENDAHULUAN

Jigsaw Puzzle merupakan sebuah gambar yang dicetak pada kertas tebal yang dipotong dengan pola geometri khusus yang saling terhubung [1]. Potongan-potongan puzzle akan diacak dan untuk menyusun kembali, diperlukan informasi dari potongan puzzle sebagai dasar pertimbangan untuk menggabungkan antar potongan. Informasi ini adalah gambar dan bentuk geometri khusus yang terdapat pada setiap potongan puzzle. Square jigsaw puzzle merupakan sebuah gambar yang dipotong tidak memiliki bentuk potongan geometri khusus. Oleh karena itu, satu-satunya informasi dari potongan puzzle pada square jigsaw puzzle yang dapat digunakan untuk menyelesaikannya adalah gambar yang terdapat pada potongan puzzle itu sendiri.

Penelitian mengenai penyelesaian square jigsaw puzzle dilakukan oleh Hynek pada tahun 2014 dengan menggunakan algoritma genetika. Untuk menyelesaikan square jigsaw puzzle, Hynek membandingkan nilai Red Green Blue (RGB) dari tepi potongan satu dengan lainnya untuk mendapatkan nilai fitness. Dari nilai fitness inilah potongan-potongan puzzle akan disusun kembali [1].

Pada tahun 2013, Brajevic dan Tuba memperkenalkan perkembangan dari algoritma *Artificial Bee Colony* yang dinamakan algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* (UABC). Pada algoritma UABC, parameter yang mempengaruhi hasil pencarian solusi adalah *size population*, *maximum cycle number*, *modification rate employed*, *modification rate onlooker*. Perkembangan yang dilakukan terdapat pada pengurangan tempat pencarian solusi pada fase *onlooker bee* dan menambahkan proses *infeasible solution replacement period* sehingga hasil yang didapat lebih optimal dari algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) [2]. Algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* (UABC) diterapkan pada optimasi permasalahan teknis seperti *welded beam*, *pressure vessel*, *tension/compress spring*, *speed reducer*, *gear train*, dan permasalahan teknis lainnya, sehingga menjadi suatu tantangan untuk diterapkan pada permasalahan citra dan *puzzle* seperti *square jigsaw puzzle*.

Dalam penelitian ini diketahui bahwa algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* (UABC) belum diterapkan pada permasalahan citra dan *puzzle* seperti pada *square jigsaw puzzle*. Maka dari itu, perlu dilakukan kajian untuk menggunakan algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* (UABC) dalam menyelesaikan sebuah *square jigsaw puzzle*.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Square Jigsaw Puzzle

Jigsaw puzzle pertama kali diproduksi dengan menggunakan kayu datar yang berbentuk simetris kemudian dipotong-potong menjadi beberapa bagian kecil yang berukuran sama oleh John Spilsbury. John Spilsbury merupakan seorang pembuat peta dan pemahat dari London, dikenal karena *jigsaw puzzle*-nya sejak tahun 1760 dan kemudian berkembang secara bertahap ke seluruh dunia [1].

Terdapat berbagai cara pemotongan gambar, seperti dengan memotong secara klasik, horizontal dan vertikal, secara diagonal, maupun secara acak. Pemotongan gambar secara klasik menghasilkan potongan-potongan yang memiliki pola saling mengunci. Pola tersebut merupakan informasi penting dalam menyusun kembali potongan-potongan gambar kembali ke gambar awal [1]. Informasi ini tidak terdapat pada *jigsaw puzzle* yang dipotong secara horizontal dan vertikal yang menghasilkan potongan berbentuk persegi yang dikenal sebagai *square jigsaw puzzle* dan memiliki tingkat kesulitan yang lebih tinggi untuk diselesaikan [3].

Permasalahan pada *jigsaw puzzle* diklasifikasikan sebagai *Nondeterministic Polynomial-time Complete* (NP-Complete) yang memerlukan pencarian semua solusi yang ada untuk menyelesaikannya secara otomatis [4]. Algoritma untuk menyelesaikan permasalahan *jigsaw puzzle* diperkenalkan pertama kalinya oleh Freeman dan Gardner. *Jigsaw puzzle* diasumsikan dipotong secara klasik yang menghasilkan bentuk potongan yang berbeda-beda dan penyelesaiannya difokuskan pada pencocokan bentuk potongan dari *jigsaw puzzle* tersebut [5]. Ukuran terbesar *jigsaw puzzle* yang berhasil diselesaikan menggunakan cara ini adalah 16 x 20 dengan jumlah 320 potongan gambar oleh Nielsen pada tahun 2008 [6].

Penyelesaian yang dilakukan oleh Kosiba et al dan Chung et al menggunakan metode pencocokkan informasi warna antar kedua potongan *jigsaw puzzle*. Lebih tepatnya penyelesaian *jigsaw puzzle* ini menggunakan informasi bentuk dan warna yaitu pencocokan bentuk kedua potongan *jigsaw puzzle* dengan menghitung jarak antar batas kurva tersebut [7].

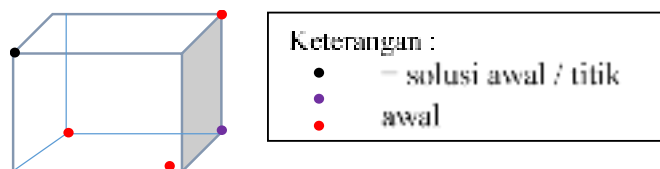
Square jigsaw puzzle adalah *jigsaw puzzle* yang tidak memiliki bentuk potongan berliku-liku atau bentuk geometri khusus pada potongannya, karena berbentuk persegi empat yang simetris satu dengan yang lain. Oleh sebab itu, satu-satunya informasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan *puzzle* ini adalah gambar yang terdapat pada *puzzle* itu sendiri [1].

2.1 Algoritma Upgraded Artificial Bee Colony (UABC)

Algoritma *artificial bee colony* (ABC) adalah teknik algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh perilaku mencari makan dari lebah madu [8]. Pada model *Artificial Bee Colony* (ABC) *Algorithm* memiliki 3 kelompok lebah, yaitu: *employed bee*, *onlooker bee*, dan *scout bee* di dalam *artificial bee colony*. *Employed bee* yang berhubungan dengan sumber makanan, *onlooker bee* menyaksikan tarian lebah yang digunakan dalam sarang untuk memilih sumber makanan, dan *scout bee* mencari sumber

makanan secara acak. *Onlooker bee* dan *scout bee* merupakan *unemployed bee*. Awalnya *scout bee* menemukan posisi semua sumber makanan, setelah itu tugas dari *employed bee* dimulai. Sebuah *employed bee* buatan secara probabilitas memperoleh beberapa modifikasi pada posisi dalam memori untuk menargetkan sumber makanan baru dan menemukan jumlah nektar atau nilai *fitness* dari sumber baru. Kemudian, *scout bee* mengevaluasi informasi yang diambil dari semua *employed bee* buatan dan memilih sumber makanan akhir dengan nilai probabilitas tertinggi terkait dengan jumlah nektar tersebut. Jika nilai *fitness* yang baru lebih tinggi dari yang sebelumnya, lebah itu akan melupakan yang lama dan menghafal posisi baru. Hal ini disebut sebagai *greedy selection*. Kemudian *employed bee* yang sumber makanan telah habis menjadi *scout bee* untuk mencari sumber makanan lebih lanjut sekali lagi. Dalam algoritma ini, pada fase *onlooker bee* dikurangi keragaman yang dimiliki sehingga mengurangi lokasi pencarian untuk menemukan solusi baru [2].

Algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* (UABC) merupakan perkembangan dari algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) yang diusulkan oleh Ivona Brajevic dan Milan Tuba pada tahun 2012. Pada algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC), solusi baru dihasilkan dari solusi saat ini dan satu solusi acak sehingga solusi baru terdapat pada titik-titik sudut sebuah bangun kubus dimana kedua solusi lama tersusun pada titik diagonal yang saling berlawanan arah [9], sedangkan pada algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* (UABC) hanya titik-titik diagonal yang terdapat di dalam kubus tersebut yang diperbolehkan sebagai solusi baru [2]



Gambar 1. Konsep Pencarian Solusi Baru Algoritma UABC

Parameter yang digunakan pada algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) juga digunakan pada algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* (UABC) yaitu: *size of population* (*SP*), *maximum cycle number* (*MCN*), *modification rate* (*MR*). Dalam algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* (UABC), *MR* dibagi menjadi dua parameter yaitu: *modification rate for employees* (*MRE*) dan *modification rate for onlookers* (*MRO*). Selain itu, ditambahkan juga sebuah parameter baru yang dinamakan *infeasible solution replacement period* (*ISRP*) [2].

3. METODE PENELITIAN

Proses penyelesaian dengan algoritma Update Artificial Bee Colony

Berikut ini adalah metode yang dilakukan dalam proses pencarian solusi untuk pencocokan potongan square jigsaw puzzle ini sebagai berikut :

1. Proses Inisialisasi Parameter yang terdiri dari
 - a. *Size Population* (*SP*) : jumlah lebah dalam suatu populasi yang berfungsi melakukan pencarian solusi baru.
 - b. *Modification Rate for Employed* (*MRE*): sebuah nilai yang mempengaruhi ruang pencarian *employed bee* dalam menentukan posisi pencarian solusi baru
 - c. *Modification Rate For Onlooker* (*MRO*) : sebuah nilai yang mempengaruhi ruang pencarian *onlooker bee* dalam menentukan posisi pencarian solusi baru. Semakin tinggi nilai *MRO*, maka ruang pencarian solusi dari *onlooker bee* semakin jauh dari posisi *employed bee*.
 - d. *Infeasible Solution Replacement Period* (*ISRP*) : parameter yang berkaitan dengan fase *scout bee* dimana berfungsi untuk menggantikan solusi lama yang memiliki tingkat kegagalan yang tinggi dengan solusi baru.
 - e. *Maximum Cycle Number* (*MCN*) : batasan perulangan siklus (*cycle*) dalam proses pencarian solusi setiap potongan.
 - f. *Limit* : batasan untuk nilai failure.

- g. *Dimensi (D)*: banyaknya potongan baik secara vertikal maupun horizontal dari *puzzle*.
2. Perhitungan Nilai D_h , D_v dan *Fitness* dengan menggunakan rumus

$$D_h(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^3 (x_i(l, L, c) - x_j(l, 1, c))^2} \quad (1)$$

$$D_v(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^3 (x_i(L, l, c) - x_j(1, l, c))^2} \quad (2)$$

$$f(a) = 1 / (1 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M-1} D_h(c_{i,j}, c_{i,j+1}) + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^M D_v(c_{i,j}, c_{i+1,j})) \quad (3)$$

3. Penentuan Potongan Awal *Scout Bee* dengan menggunakan rumus

$$x = 1 + rand(0, 1) * (u - 1) \quad (4)$$

4. Perhitungan nilai *Threshold Right* dan *Threshold Bottom* yang digunakan untuk membandingkan nilai *fitness* yang didapatkan sebelum pengacakan dengan nilai *fitness* yang dilakukan setelah pengacakan.
5. Perhitungan nilai *fitness* potongan awal dengan potongan kanan atau bawah yaitu menghitung nilai *fitness* setelah pengacakan dimana potongan yang dipilih oleh *scout* dihitung dengan potongan sebelah kanan atau potongan sebelah bawah.
6. Penentuan *Right* dan *Bottom Solution* dimana *Right Solution* merupakan selisih dari nilai *fitness right* dengan *threshold right* yang sudah dihitung sebelumnya., sedangkan perhitungan *bottom solution* merupakan selisih dari *fitness bottom* dengan *threshold bottom* yang sudah dihitung sebelumnya.
7. Pencarian solusi oleh *employed bee* dimana jumlah *employed bee* didapatkan dari nilai *SP* dibagi dua dan indeks *employed bee* diperoleh dari rumus berikut

$$ei = x + rand(-1, 1) * (1 - u) \quad (5)$$

8. Penyeleksian oleh Metode Deb adalah menentukan potongan *employed bee feasible* jika nilai *fitness* lebih kecil dari *right solution* atau *bottom solution* dan *infeasible* jika nilai *fitness* lebih besar dari *right solution* atau *bottom solution*.
9. Perhitungan probabilitas antar potongan dengan menggunakan rumus

$$Pi = 0,9 * \left(\frac{fitness\ i}{total\ fitness} \right) + 0,1 \quad (6)$$

10. Pencarian solusi oleh *Onlooker bee* dengan menggunakan rumus sebagai berikut

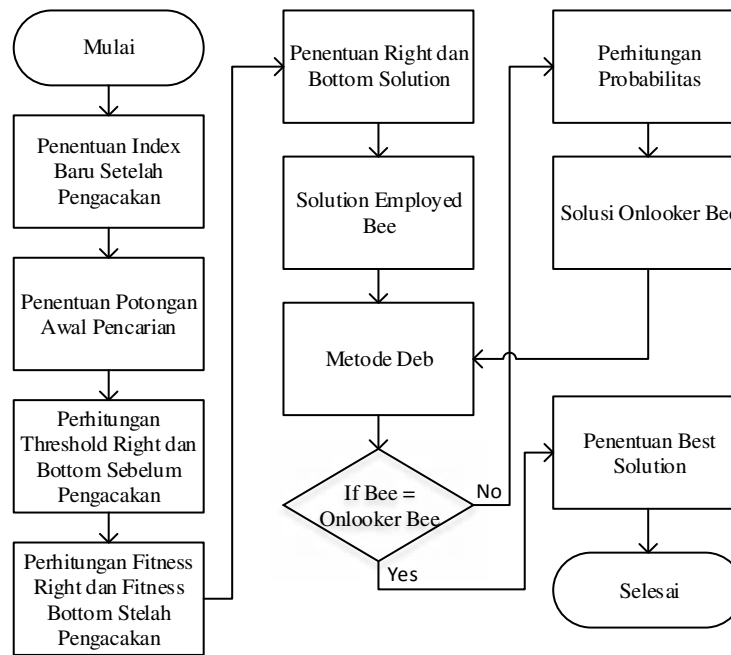
$$oi = ei + (rand(-1, 1) * Pi) * (1 - u) \quad (7)$$

11. Penyeleksian oleh Metode Deb II dimana proses ini hampir sama dengan metode deb sebelumnya, hanya pada proses ini yang dieksekusi adalah hasil pencarian *onlooker bee*
12. Perhitungan *Infeasible Solution Replacemen Period (ISRP)* dengan menggunakan rumus

$$ISRP = 40 \% x MCN \quad (8)$$

13. Penyimpanan solusi terbaik dimana variable akan menyimpan solusi potongan kanan dan bawah terbaik dan proses ini akan berakhir dengan syarat sebagai berikut:
- Right* dan *bottom solution* telah mendapatkan solusi terbaik yaitu 0 (nol)
 - Failure* telah mencapai nilai *limit* karena tidak terdapat solusi yang lebih baik lagi
 - Siklus telah mencapai nilai *Maximum Cycle Number (MCN)* [2].

Proses pencarian solusi untuk pencocokan potongan puzzle dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 2. Flowchart Pencarian Solusi Untuk Pencocokan Square Jigsaw Puzzle

3. PENGUJIAN

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap aplikasi yang sudah dirancang untuk mengetahui ketepatan hasil penyusunan *puzzle* oleh aplikasi menggunakan algoritma UABC. Ketepatan dari penyusunan oleh aplikasi bergantung pada parameter yang diinputkan oleh *user*. Pada pengujian kali ini menggunakan parameter yang tetap untuk ukuran *puzzle* 15x15 dan 20x20.

Parameter yang digunakan untuk pengujian ketepatan adalah sebagai berikut:

$D = 15; 20; 25$ | $SP = 120$ | $MCN = 5$ | $MRE = 0.9$ | $MRO = 0.5$ | $ISRP = 40\% * MCN$ |
 $limit = SP * D * 0.5$

Tabel 1. Hasil Pengujian Ketepatan pada Ukuran 15x15

Nama File	Hasil Tes ke-										Best	Worst	Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Beach.jpg	96.444%	95.555%	96.000%	95.111%	94.222%	96.222%	96.222%	97.333%	94.222%	94.667%	96.222%	94.222%	96.189%
Bus.jpg	93.333%	97.778%	96.000%	93.333%	96.889%	96.000%	96.667%	94.667%	95.889%	95.111%	96.667%	93.333%	95.067%
Elephant.jpg	96.444%	96.000%	95.555%	95.555%	95.111%	95.555%	95.111%	96.000%	92.000%	94.667%	96.444%	92.000%	95.200%

Pada Tabel 1, terdapat kolom nama file yang berisikan nama file citra yang diuji, kolom hasil tes dari 1 hingga 10 berisi persentase ketepatan yang dihitung menggunakan persamaan 10, kolom *best* berisi nilai tertinggi dari seluruh hasil tes, kolom *worst* berisi nilai terendah dari seluruh hasil tes, dan kolom *average* berisikan nilai rata-rata dari seluruh hasil tes.

Dari Tabel 1 diketahui bahwa nilai ketepatan tertinggi adalah 98,667% pada citra *bus.jpg* dan nilai ketepatan terendah adalah 92% pada citra *elephant.jpg*. Nilai rata-rata yang diperoleh untuk ukuran *puzzle* 15x15 berkisar antara 95,2% hingga 96,189% untuk ketiga citra yang diuji.

Tabel 2. Hasil Pengujian Ketepatan pada Ukuran 20x20

Nama File	Hasil Tes ke-										Best	Worst	Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Beach.jpg	86.750%	84.250%	85.500%	85.000%	85.750%	85.750%	86.250%	86.000%	88.750%	85.750%	88.750%	84.250%	85.975%
Bus.jpg	90.750%	85.500%	87.250%	89.250%	88.750%	86.750%	83.500%	83.500%	86.000%	82.500%	90.750%	82.500%	86.375%
Elephant.jpg	88.000%	88.000%	87.500%	87.750%	85.750%	84.750%	84.500%	85.500%	84.250%	87.500%	88.000%	84.250%	86.350%

Pada Tabel 2, dapat dilihat nilai ketepatan tertinggi yang diperoleh adalah 90,75% dan nilai terendah 82,5% pada citra *bus.jpg*. Nilai rata-rata ketepatan untuk ukuran *puzzle* 20x20 berkisar antara 85,975% hingga 86,375%.

4.1 Pengujian Pengaruh Parameter SP dan MCN

Parameter SP dan MCN mempengaruhi banyak lebah pencarian dan banyak siklus pencarian yang dilakukan oleh lebah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai SP dan MCN terhadap nilai ketepatan yang dihasilkan pada ukuran *puzzle* 5x5 dan 10x10

Pengujian terhadap pengaruh SP dan MCN terhadap nilai ketepatan hasil penyelesaian ukuran 5x5 menggunakan parameter sebagai berikut:

$D = 5$ | $SP = 10; 20; 30$ | $MCN = 5; 10; 15$ | $MRE = 0,9$ | $MRO = 0,5$ | $ISRP = 40\% * MCN$ | $limit = SP * D * 0,5$

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengaruh SP dan MCN pada Ukuran 5x5

Nama File	SP	MCN	Tes 1	Tes 2	Tes 3	Tes 4	Tes 5	Tes 6	Tes 7	Tes 8	Tes 9	Tes 10	Best	Worst	Average
Beach.jpg	10	5	100%	84%	100%	92%	96%	92%	100%	96%	84%	92%	100.00%	84.00%	93.60%
Beach.jpg	20	5	92%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	96%	100%	88%	100.00%	88.00%	97.20%
Beach.jpg	30	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90%	100.00%	96.00%	99.60%
Beach.jpg	10	10	100%	100%	84%	96%	92%	100%	100%	100%	92%	90%	100.00%	84.00%	90.00%
Beach.jpg	20	10	100%	100%	100%	96%	100%	96%	100%	100%	96%	100%	100.00%	96.00%	98.80%
Beach.jpg	30	10	100%	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100.00%	96.00%	99.60%
Beach.jpg	10	15	100%	100%	96%	100%	100%	100%	96%	96%	92%	96%	100.00%	92.00%	97.60%
Beach.jpg	20	15	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%	96.00%	99.60%
Beach.jpg	30	15	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%	100.00%	100.00%
Bus.jpg	10	5	92%	96%	100%	92%	92%	88%	96%	92%	96%	96%	100.00%	88.00%	94.00%
Bus.jpg	20	5	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92%	96%	100.00%	92.00%	96.40%
Bus.jpg	30	5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%	100.00%	100.00%
Bus.jpg	10	10	100%	96%	100%	96%	100%	100%	100%	96%	96%	100%	100.00%	96.00%	98.40%
Bus.jpg	20	10	100%	100%	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	100.00%	96.00%	99.60%
Bus.jpg	30	10	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%	100.00%	100.00%
Bus.jpg	10	15	100%	100%	96%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	96%	100.00%	96.00%	98.80%
Bus.jpg	20	15	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%	96.00%	99.60%
Bus.jpg	30	15	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%	100.00%	100.00%
Elephant.jpg	10	5	88%	100%	88%	84%	100%	96%	100%	84%	96%	92%	100.00%	84.00%	92.80%
Elephant.jpg	20	5	100%	100%	100%	96%	96%	100%	96%	96%	92%	96%	100.00%	92.00%	97.20%
Elephant.jpg	30	5	100%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	96%	96%	100%	100.00%	96.00%	98.80%
Elephant.jpg	10	10	100%	100%	96%	96%	88%	92%	96%	96%	100%	100%	100.00%	88.00%	96.40%
Elephant.jpg	20	10	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100.00%	96.00%	99.60%
Elephant.jpg	30	10	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%	96.00%	99.60%
Elephant.jpg	10	15	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100.00%	96.00%	99.20%
Elephant.jpg	20	15	96%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	96%	100%	100%	100.00%	96.00%	98.80%
Elephant.jpg	30	15	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100.00%	96.00%	99.60%

Dari Tabel 3 dapat dilihat persentase ketepatan mengalami peningkatan setelah nilai SP dan/atau MCN ditingkatkan juga. Nilai rata-rata terendah adalah 92.8% pada citra *elephant.jpg* dan nilai rata-rata tertinggi adalah 100% pada citra *beach.jpg* dan *bus.jpg*.

Pengujian terhadap pengaruh SP dan MCN dengan ukuran *puzzle* 10x10 menggunakan parameter sebagai berikut:

$D = 10 \mid SP = 20; 40; 60 \mid MCN = 5; 10; 15 \mid MRE = 0,9 \mid MRO = 0,5 \mid ISRP = 40\% * MCN \mid$
 $limit = SP * D * 0,5$

Tabel 4. Hasil Pengujian Pengaruh SP dan MCN pada Ukuran 10x10

Nama File	SP	MCN	Tes 1	Tes 2	Tes 3	Tes 4	Tes 5	Tes 6	Tes 7	Tes 8	Tes 9	Tes 10	Best	Worst	Average
Beach.jpg	20	5	78.00%	76.00%	78.00%	78.00%	79.00%	70.00%	65.00%	73.00%	81.00%	77.00%	81.00%	65.00%	75.50%
Beach.jpg	40	5	91.00%	94.00%	95.00%	90.00%	92.00%	91.00%	92.00%	86.00%	90.00%	91.00%	95.00%	85.00%	91.20%
Beach.jpg	60	5	96.00%	94.00%	96.00%	92.00%	97.00%	97.00%	97.00%	96.00%	99.00%	97.00%	99.00%	92.00%	96.10%
Beach.jpg	20	10	90.00%	95.00%	93.00%	89.00%	92.00%	93.00%	87.00%	87.00%	85.00%	88.00%	96.00%	80.00%	90.60%
Beach.jpg	40	10	98.00%	96.00%	98.00%	96.00%	95.00%	97.00%	95.00%	97.00%	95.00%	93.00%	99.00%	93.00%	96.40%
Beach.jpg	60	10	100.00%	99.00%	99.00%	99.00%	100.00%	99.00%	100.00%	100.00%	99.00%	98.00%	100.00%	98.00%	99.30%
Beach.jpg	20	15	96.00%	92.00%	94.00%	94.00%	95.00%	92.00%	92.00%	94.00%	89.00%	96.00%	96.00%	89.00%	93.40%
Beach.jpg	40	15	99.00%	100.00%	98.00%	99.00%	96.00%	99.00%	98.00%	98.00%	99.00%	100.00%	100.00%	95.00%	98.60%
Beach.jpg	60	15	97.00%	99.00%	100.00%	100.00%	100.00%	99.00%	100.00%	100.00%	99.00%	100.00%	100.00%	97.00%	99.40%
Bus.jpg	20	5	77.00%	73.00%	80.00%	78.00%	76.00%	78.00%	72.00%	68.00%	73.00%	75.00%	80.00%	68.00%	75.00%
Bus.jpg	40	5	86.00%	91.00%	91.00%	87.00%	91.00%	94.00%	93.00%	95.00%	91.00%	97.00%	97.00%	86.00%	91.60%
Bus.jpg	60	5	95.00%	92.00%	96.00%	94.00%	94.00%	99.00%	95.00%	95.00%	94.00%	97.00%	99.00%	92.00%	95.50%
Bus.jpg	20	10	84.00%	88.00%	88.00%	90.00%	93.00%	98.00%	88.00%	87.00%	93.00%	95.00%	98.00%	84.00%	90.50%
Bus.jpg	40	10	98.00%	94.00%	96.00%	93.00%	95.00%	96.00%	95.00%	94.00%	95.00%	98.00%	94.00%	93.00%	96.00%
Bus.jpg	60	10	98.00%	99.00%	99.00%	99.00%	100.00%	99.00%	100.00%	99.00%	99.00%	100.00%	100.00%	98.00%	99.20%
Bus.jpg	20	15	94.00%	95.00%	97.00%	92.00%	93.00%	92.00%	97.00%	97.00%	92.00%	95.00%	97.00%	92.00%	94.50%
Bus.jpg	40	15	98.00%	99.00%	100.00%	97.00%	97.00%	98.00%	98.00%	99.00%	98.00%	100.00%	100.00%	97.00%	98.40%
Bus.jpg	60	15	99.00%	100.00%	100.00%	100.00%	98.00%	100.00%	100.00%	99.00%	100.00%	100.00%	100.00%	98.00%	99.60%
Elephant.jpg	20	5	77.00%	77.00%	72.00%	70.00%	77.00%	78.00%	71.00%	77.00%	72.00%	70.00%	78.00%	70.00%	74.60%
Elephant.jpg	40	5	87.00%	92.00%	89.00%	89.00%	93.00%	87.00%	83.00%	94.00%	95.00%	93.00%	95.00%	85.00%	90.40%
Elephant.jpg	60	5	93.00%	96.00%	98.00%	93.00%	96.00%	98.00%	97.00%	96.00%	100.00%	93.00%	100.00%	93.00%	96.00%
Elephant.jpg	20	10	92.00%	92.00%	92.00%	93.00%	93.00%	90.00%	93.00%	92.00%	92.00%	91.00%	93.00%	90.00%	92.00%
Elephant.jpg	40	10	98.00%	95.00%	94.00%	94.00%	99.00%	98.00%	95.00%	92.00%	100.00%	98.00%	100.00%	92.00%	96.40%
Elephant.jpg	60	10	99.00%	99.00%	100.00%	99.00%	99.00%	99.00%	99.00%	100.00%	100.00%	99.00%	100.00%	99.00%	99.30%
Elephant.jpg	20	15	93.00%	95.00%	96.00%	92.00%	93.00%	93.00%	93.00%	97.00%	93.00%	96.00%	97.00%	92.00%	94.10%
Elephant.jpg	40	15	99.00%	97.00%	100.00%	98.00%	98.00%	100.00%	98.00%	100.00%	98.00%	98.00%	100.00%	97.00%	98.60%
Elephant.jpg	60	15	99.00%	99.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	99.00%	99.00%	99.00%	100.00%	99.00%	99.50%

Dari Tabel 4 terlihat bahwa peningkatan nilai SP dan atau MCN juga meningkatkan nilai ketepatan. Nilai rata-rata terendah yang diperoleh adalah 74.40% pada citra *elephant.jpg*, sedangkan nilai rata-rata tertinggi adalah 99.60% pada citra *bus.jpg*.

Dari Tabel 3 dan Tabel 4 terbukti bahwa dengan meningkatkan nilai SP dan atau MCN, maka persentase ketepatan yang diperoleh juga semakin tinggi.

4.2 Pengujian Pengaruh Paramater MRE dan MRO

Parameter MRE dan MRO berpengaruh pada ruang pencarian solusi. Pengujian ini bertujuan menunjukkan pengaruh besar kecilnya ruang pencarian solusi mempengaruhi hasil yang diperoleh. Adapun ukuran *puzzle* yang akan diuji adalah 5x5 dan 10x10

Pengujian terhadap pengaruh MRE dan MRO dengan ukuran *puzzle* 5x5 dilakukan dengan parameter sebagai berikut:

$D = 10 \mid SP = 10 \mid MCN = 5 \mid MRE = 0,5; 0,7; 0,9 \mid MRO = 0,1; 0,3; 0,5 \mid ISRP = 40\% * MCN \mid$
 $limit = SP * D * 0,5$

Tabel 5. Hasil Pengujian Pengaruh MRE dan MRO pada Ukuran 5x5

Nama File	MRE	MRO	Hasil Tes ke-										Best	Worst	Average
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Beach.jpg	0,5	0,1	92,00%	96,00%	92,00%	92,00%	88,00%	92,00%	88,00%	88,00%	88,00%	100,00%	100,00%	88,00%	91,60%
Beach.jpg	0,5	0,3	92,00%	96,00%	95,00%	100,00%	95,00%	96,00%	95,00%	100,00%	92,00%	84,00%	100,00%	84,00%	94,80%
Beach.jpg	0,7	0,1	88,00%	96,00%	92,00%	88,00%	100,00%	96,00%	100,00%	92,00%	92,00%	95,00%	100,00%	88,00%	94,00%
Beach.jpg	0,7	0,3	92,00%	92,00%	100,00%	84,00%	95,00%	88,00%	95,00%	96,00%	92,00%	95,00%	100,00%	84,00%	93,20%
Beach.jpg	0,7	0,5	100,00%	96,00%	92,00%	92,00%	92,00%	92,00%	92,00%	95,00%	80,00%	95,00%	100,00%	80,00%	93,10%
Beach.jpg	0,9	0,1	88,00%	84,00%	95,00%	96,00%	88,00%	96,00%	95,00%	88,00%	92,00%	92,00%	96,00%	84,00%	91,60%
Beach.jpg	0,9	0,3	95,00%	96,00%	100,00%	96,00%	100,00%	88,00%	92,00%	80,00%	96,00%	95,00%	100,00%	80,00%	94,00%
Beach.jpg	0,9	0,5	92,00%	96,00%	95,00%	84,00%	100,00%	88,00%	92,00%	100,00%	92,00%	95,00%	100,00%	84,00%	93,60%
Bus.jpg	0,5	0,1	92,00%	84,00%	92,00%	92,00%	88,00%	92,00%	84,00%	96,00%	92,00%	92,00%	96,00%	84,00%	90,40%
Bus.jpg	0,5	0,3	95,00%	100,00%	92,00%	96,00%	92,00%	96,00%	92,00%	92,00%	88,00%	95,00%	100,00%	88,00%	94,00%
Bus.jpg	0,7	0,1	92,00%	100,00%	95,00%	84,00%	100,00%	92,00%	80,00%	100,00%	92,00%	95,00%	100,00%	80,00%	93,20%
Bus.jpg	0,7	0,3	95,00%	96,00%	95,00%	96,00%	92,00%	92,00%	95,00%	88,00%	92,00%	84,00%	96,00%	84,00%	92,80%
Bus.jpg	0,7	0,5	92,00%	92,00%	92,00%	92,00%	92,00%	96,00%	88,00%	100,00%	96,00%	92,00%	100,00%	88,00%	93,20%
Bus.jpg	0,9	0,1	92,00%	96,00%	92,00%	92,00%	88,00%	100,00%	92,00%	88,00%	96,00%	95,00%	100,00%	88,00%	93,20%
Bus.jpg	0,9	0,3	88,00%	100,00%	95,00%	96,00%	88,00%	100,00%	95,00%	96,00%	92,00%	92,00%	100,00%	88,00%	94,40%
Bus.jpg	0,9	0,5	88,00%	96,00%	95,00%	96,00%	92,00%	100,00%	95,00%	96,00%	96,00%	95,00%	100,00%	88,00%	95,20%
Elephant.jpg	0,5	0,1	100,00%	92,00%	95,00%	92,00%	95,00%	96,00%	88,00%	92,00%	88,00%	95,00%	100,00%	88,00%	93,60%
Elephant.jpg	0,5	0,3	84,00%	92,00%	92,00%	100,00%	88,00%	96,00%	100,00%	100,00%	96,00%	84,00%	100,00%	84,00%	93,20%
Elephant.jpg	0,7	0,1	88,00%	100,00%	92,00%	100,00%	92,00%	92,00%	95,00%	100,00%	88,00%	92,00%	100,00%	88,00%	94,00%
Elephant.jpg	0,7	0,3	88,00%	100,00%	95,00%	88,00%	92,00%	84,00%	95,00%	80,00%	92,00%	95,00%	100,00%	80,00%	91,20%
Elephant.jpg	0,7	0,5	84,00%	92,00%	92,00%	92,00%	95,00%	100,00%	95,00%	92,00%	100,00%	95,00%	100,00%	84,00%	94,00%
Elephant.jpg	0,9	0,1	96,00%	92,00%	92,00%	88,00%	100,00%	92,00%	88,00%	92,00%	100,00%	92,00%	100,00%	88,00%	93,20%
Elephant.jpg	0,9	0,3	95,00%	96,00%	84,00%	92,00%	92,00%	88,00%	95,00%	92,00%	96,00%	84,00%	96,00%	84,00%	91,60%
Elephant.jpg	0,9	0,5	95,00%	96,00%	95,00%	96,00%	95,00%	100,00%	95,00%	96,00%	92,00%	80,00%	100,00%	80,00%	94,40%

Pada Tabel 5 terlihat bahwa dengan meningkatkan nilai MRE dan MRO, maka sebagian besar hasil ketepatan mengalami peningkatan. Namun terdapat penurunan ketepatan pada citra *bus.jpg* yang memiliki nilai MRE = 0,5 dan MRO = 0,3 dengan MRE = 0,7 dan MRO = 0,3 sebesar 1,2%. Hal yang sama terjadi pada citra *beach.jpg* yang memiliki nilai MRE = 0,7 dan MRO = 0,1 dengan MRE = 0,7 dan MRO = 0,3 sebesar 0,8%. Hal ini menunjukkan peningkatan nilai MRE dan MRO tidak menjamin peningkatan nilai ketepatan pada ukuran *puzzle* 5x5.

Pengujian terhadap pengaruh MRE dan MRO dengan ukuran *puzzle* 10x10 dilakukan dengan parameter sebagai berikut:

$D = 10 \mid SP = 20 \mid MCN = 5 \mid MRE = 0,5; 0,7; 0,9 \mid MRO = 0,1; 0,3; 0,5 \mid ISRP = 40\% * MCN \mid limit = SP * D * 0,5$

Tabel 6. Hasil Pengujian Pengaruh MRE dan MRO pada Ukuran 10x10

Nama File	MRE	MRO	Hasil Tes ke-										Best	Worst	Average
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Beach.jpg	0,5	0,1	70.00%	66.00%	69.00%	68.00%	70.00%	62.00%	76.00%	78.00%	67.00%	75.00%	78.00%	62.00%	70.10%
Beach.jpg	0,5	0,3	67.00%	75.00%	74.00%	74.00%	78.00%	76.00%	72.00%	72.00%	72.00%	73.00%	78.00%	67.00%	73.30%
Beach.jpg	0,7	0,1	75.00%	70.00%	67.00%	68.00%	72.00%	75.00%	76.00%	73.00%	68.00%	75.00%	76.00%	67.00%	71.90%
Beach.jpg	0,7	0,3	68.00%	69.00%	74.00%	70.00%	70.00%	72.00%	74.00%	79.00%	69.00%	74.00%	79.00%	68.00%	71.90%
Beach.jpg	0,7	0,5	74.00%	73.00%	73.00%	77.00%	69.00%	76.00%	78.00%	72.00%	73.00%	74.00%	78.00%	69.00%	73.90%
Beach.jpg	0,9	0,1	74.00%	70.00%	72.00%	68.00%	76.00%	74.00%	71.00%	72.00%	81.00%	70.00%	81.00%	68.00%	72.80%
Beach.jpg	0,9	0,3	68.00%	81.00%	79.00%	77.00%	82.00%	78.00%	72.00%	67.00%	80.00%	72.00%	82.00%	67.00%	75.60%
Beach.jpg	0,9	0,5	70.00%	77.00%	76.00%	79.00%	78.00%	81.00%	72.00%	73.00%	78.00%	71.00%	81.00%	70.00%	75.70%
Bus.jpg	0,5	0,1	75.00%	76.00%	74.00%	71.00%	80.00%	73.00%	71.00%	68.00%	68.00%	80.00%	83.00%	63.00%	71.90%
Bus.jpg	0,5	0,3	64.00%	76.00%	75.00%	70.00%	80.00%	79.00%	66.00%	76.00%	66.00%	76.00%	80.00%	64.00%	72.80%
Bus.jpg	0,7	0,1	70.00%	64.00%	72.00%	70.00%	64.00%	75.00%	72.00%	67.00%	64.00%	67.00%	75.00%	64.00%	68.50%
Bus.jpg	0,7	0,3	74.00%	78.00%	65.00%	77.00%	75.00%	68.00%	77.00%	84.00%	78.00%	67.00%	84.00%	65.00%	74.30%
Bus.jpg	0,7	0,5	72.00%	75.00%	73.00%	73.00%	79.00%	66.00%	69.00%	80.00%	70.00%	69.00%	80.00%	66.00%	72.60%
Bus.jpg	0,9	0,1	75.00%	74.00%	74.00%	68.00%	74.00%	60.00%	68.00%	72.00%	78.00%	70.00%	78.00%	60.00%	71.30%
Bus.jpg	0,9	0,3	80.00%	76.00%	72.00%	71.00%	79.00%	65.00%	72.00%	73.00%	76.00%	71.00%	80.00%	65.00%	73.50%
Bus.jpg	0,9	0,5	80.00%	78.00%	80.00%	74.00%	68.00%	75.00%	63.00%	72.00%	75.00%	84.00%	84.00%	63.00%	74.90%
Elephant.jpg	0,5	0,1	73.00%	69.00%	77.00%	72.00%	70.00%	70.00%	81.00%	66.00%	76.00%	79.00%	81.00%	66.00%	73.30%
Elephant.jpg	0,5	0,3	76.00%	67.00%	73.00%	70.00%	74.00%	79.00%	82.00%	78.00%	81.00%	75.00%	82.00%	67.00%	75.50%
Elephant.jpg	0,7	0,1	68.00%	82.00%	72.00%	71.00%	73.00%	66.00%	81.00%	73.00%	76.00%	77.00%	82.00%	66.00%	73.90%
Elephant.jpg	0,7	0,3	75.00%	76.00%	67.00%	76.00%	79.00%	82.00%	76.00%	74.00%	78.00%	79.00%	82.00%	67.00%	76.20%
Elephant.jpg	0,7	0,5	82.00%	75.00%	76.00%	82.00%	77.00%	72.00%	75.00%	81.00%	75.00%	74.00%	82.00%	72.00%	76.90%
Elephant.jpg	0,9	0,1	73.00%	76.00%	72.00%	68.00%	69.00%	70.00%	74.00%	73.00%	77.00%	72.00%	77.00%	68.00%	72.40%
Elephant.jpg	0,9	0,3	77.00%	81.00%	78.00%	79.00%	74.00%	78.00%	80.00%	73.00%	77.00%	77.00%	81.00%	73.00%	77.40%
Elephant.jpg	0,9	0,5	79.00%	79.00%	73.00%	75.00%	76.00%	77.00%	81.00%	82.00%	83.00%	76.00%	83.00%	73.00%	77.50%

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa peningkatan nilai MRE dan MRO secara umum meningkatkan hasil ketepatan, namun terjadi penurunan ketepatan pada beberapa kasus. Penurunan hasil terlihat pada citra *beach.jpg* yang memiliki nilai MRE = 0,5 dan MRO = 0,3 dengan MRE = 0,7 dan MRO = 0,3 sebesar 1,4%. Penurunan hasil juga terlihat pada citra *bus.jpg* yang memiliki MRE = 0,7 dan MRO = 0,3 dengan MRE = 0,7 dan MRO = 0,5 sebesar 2%. Oleh sebab itu, peningkatan nilai MRE dan MRO pada ukuran *puzzle* 10x10 tidak menjamin peningkatan hasil yang diperoleh.

Dari Tabel 5 dan Tabel 6 dapat diperoleh kesimpulan bahwa peningkatan nilai MRE dan MRO pada umumnya meningkatkan persentase ketepatan, namun peningkatan yang diperoleh tidak signifikan.

5. KESIMPULAN

Setelah menyelesaikan aplikasi pencarian solusi *square jigsaw puzzle* menggunakan algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan nilai parameter yang statis, semakin banyak potongan yang dimiliki maka tingkat ketepatan dari aplikasi semakin rendah.
2. Dengan meningkatkan nilai SP maupun MCN, maka hasil ketepatan yang diperoleh juga semakin baik.
3. Peningkatan parameter MRE dan MRO secara umum meningkatkan hasil ketepatan yang diperoleh.
4. Penggunaan algoritma *Upgraded Artificial Bee Colony* ternyata dapat digunakan menyelesaikan permasalahan citra seperti *Square Jigsaw Puzzle*.

5. SARAN

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan dan mungkin akan membantu dalam pengembangan aplikasi ini lebih lanjut adalah:

1. Aplikasi telah teruji untuk menyelesaikan potongan berbentuk persegi yang simetris, untuk pengembangan selanjutnya aplikasi dapat dikembangkan untuk menyelesaikan potongan berbentuk lingkaran, segitiga, segilima, atau bentuk lainnya.
2. Aplikasi dapat ditambahkan algoritma yang merekomendasi parameter masukan sesuai dengan ukuran *puzzle* untuk memperoleh persentase ketepatan yang maksimal.
3. Dalam meningkatkan kualitas hasil penyelesaian *square jigsaw puzzle*, aplikasi dapat dikembangkan menggunakan teknik *Quadtree* yang melakukan pencarian solusi potongan *puzzle* ke empat arah (atas, bawah, kiri dan kanan).
4. Dalam meningkatkan kecepatan penyelesaian dari aplikasi, dapat dilakukan pengurangan pixel yang diambil dari tepi tiap potongan untuk proses perhitungan *fitness*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hynek, J., 2014, Sequence Matching Genetic Algorithm for Square Jigsaw Puzzles, IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 436, p.317-324
- [2] Brajevic, I. dan Tuba, M., 2012, An Upgraded Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Constrained Optimization Problems, Journal of Intelligent Manufacturing, vol.24(4), p.729-740
- [3] Cho, T.S., Avidan, S., dan Freeman, W.T., 2010, A Probabilistic Image Jigsaw Puzzle Solver, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), p.183-190. IEEE
- [4] Demaine, E.D. dan Demaine, M.L., 2007, Jigsaw Puzzles, Edge Matching, and Polyomino Packing: Connections and Complexity, Graphs and Combinatorics, vol 23, p.95-208.
- [5] Freeman, H. dan Garder, L., 1964, Apictorial Jigsaw Puzzles: The Computer Solution of a Problem in Pattern Recognition, IEEE TEC, vol 13, p. 118-127
- [6] Nielsen, T.R., Drewsen, P., dan Hansen, K., 2008, Solving Jigsaw Puzzles Using Image Features, Pattern Recognition Letters, vol 29(14), p.1924-1933.
- [7] Yao, F. H. dan Shao, G.F., 2013, A Shape and Image Merging Technique to Solve Jigsaw Puzzles, Pattern Recognition Letters, vol 24, p.1819-1835.
- [8] Karaboga, D., 2005, An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Technical report-tr06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department
- [9] Karaboga, D. & Akay, B., 2011, A Modified Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Constrained Optimization Problems, Applied Soft Computing, vol 11(3), p.3021-3031.