

## ANALISIS ELITISME PADA ALGORITMA GENETIKA MENGGUNAKAN PENGKODEAN *ORDINAL REPRESENTATION* DALAM *TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*

Arfan Yehezkiel Mauko<sup>1</sup>, Adriana Fanggidae<sup>2\*</sup> dan Yulianto Triwahyuadi Polly<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adi Sucipto Kupang, Indonesia

<sup>1</sup>Email: [arfanmauko@staf.undana.ac.id](mailto:arfanmauko@staf.undana.ac.id)

<sup>2\*</sup>Email: [adrianafanggidae@staf.undana.ac.id](mailto:adrianafanggidae@staf.undana.ac.id)

<sup>3</sup>Email: [yuliantopolly@staf.undana.ac.id](mailto:yuliantopolly@staf.undana.ac.id)

### ABSTRAK

*Traveling salesman problem* (TSP) merupakan salah satu permasalahan optimasi untuk mencari rute terpendek, di mana setiap kota hanya diperbolehkan tepat satu kali untuk dikunjungi. Pencarian rute terpendek dapat diselesaikan oleh beberapa algoritma, salah satunya adalah algoritma genetika. Algoritma genetika adalah suatu algoritma optimasi yang bekerja dengan cara meniru proses evolusi di alam. Selama proses evolusi, individu dengan *fitness* terbaik dapat saja mengalami perubahan yang mengakibatkan penurunan *fitness*. Oleh karena itu, untuk menjaga individu dengan *fitness* terbaik tidak punah selama proses evolusi, maka perlu dibuat salinan individu tersebut yang disebut elitisme. Terdapat tiga model elitisme yaitu, Model 1: individu terbaik disalin sebanyak  $m$  menggantikan  $m$  individu terburuk, Model 2:  $m$  individu terbaik menggantikan  $m$  individu terburuk, dan Model 3:  $m$  individu terbaik menggantikan  $m$  individu terburuk yang dipilih secara acak dari 100%- $m$  individu terburuk. Nilai dari parameter  $m$  yaitu 10%, 20%, 30%, dan 40%. Pengujian dilakukan dengan elitisme dan tanpa elitisme pada populasi dan jumlah kota yang berbeda. Hasil pengujian didapatkan bahwa Model 2 dengan  $m = 10\%$  dan *populasi* = 20 merupakan parameter yang ideal dalam penyelesaian TSP.

Kata kunci: algoritma genetika, elitisme, *ordinal representation*, *traveling salesman problem*.

### ABSTRACT

*Traveling salesman problem* (TSP) is one of the optimization problems to find the shortest route, where each city is only allowed to visit exactly once. The search for the shortest route can be completed by several algorithms, one of which is the genetic algorithm. Genetic algorithm is an optimization algorithm that works by imitating the evolutionary process in nature. During the evolution process, individuals with the best fitness may undergo changes that result in a decrease in fitness. Therefore, in order to keep individuals with the best fitness from becoming extinct during the evolutionary process, it is necessary to make copies of these individuals which is called elitism. There are three models of elitism, namely, Model 1: the best individuals are copied as many as  $m$  replacing the worst  $m$  individuals, Model 2: the best  $m$  individuals replace the worst  $m$  individuals, and Model 3: the best  $m$  individuals replace the worst  $m$  individuals selected randomly from 100%- $m$  worst individual. The values of the  $m$  parameters are 10%, 20%, 30%, and 40%. The tests were carried out with elitism and without elitism on different populations and cities. The test results show that Model 2 with  $m = 10\%$  and *population* = 20 is the ideal parameter in solving TSP.

Keywords: genetic algorithm, elitism, ordinal representation, traveling salesman problem.

### 1. PENDAHULUAN

Algoritma Genetika (AG) diperkenalkan oleh John Henry Holland pada tahun 1975 yang menerapkan mekanisme evolusi biologis Charles Darwin “*survival of fittest*”, yaitu individu-individu terbaik memiliki peluang lebih besar dalam bertahan hidup. Individu-individu ini dapat mewariskan sifat-sifatnya ke generasi berikutnya.

Ada 3 operator evolusi dalam AG yaitu, seleksi untuk memilih individu-individu dalam populasi yang layak untuk masuk ke tahap *crossover*, *crossover* untuk menghasilkan individu baru yang mewarisi sifat-sifat orang tua, dan mutasi untuk melakukan perubahan acak pada gen terpilih. Selama evolusi dimungkinkan terjadinya penurunan kualitas individu, sehingga perlu dipastikan terjaganya kualitas individu dari satu generasi ke generasi berikutnya [1]. Elitisme memungkinkan terjadinya kloning sekumpulan individu terbaik dari satu generasi ke generasi berikutnya, sehingga pewarisan sifat-sifat dari individu terbaik tetap ada dalam populasi [2],[3],[4]. Sekumpulan individu dalam elitisme harus

dipertimbangkan agar keseragaman populasi tetap terjaga dan tidak terjadi konvergensi prematur. Hasil penelitian [5],[6] menunjukkan dengan jelas bahwa elitisme dapat mempercepat kinerja GA dan membantu mempertahankan solusi yang baik yang didapat selama pencarian.

Penelitian [7] mempelajari pengaruh elitisme pada algoritma evolusioner, *Strength Pareto Evolutionary Algorithm* (SPEA) menggunakan elitisme dan *Vector Evaluated Genetic Algorithm* (VEGA) tidak menggunakan elitisme. Pengujian dilakukan terhadap 3 fungsi multi objektif, dan hasil yang diperoleh oleh algoritma evolusioner yang menggunakan elitisme lebih baik daripada algoritma evolusioner yang tidak menggunakan elitisme. Penelitian [8] menyatakan bahwa *Genetic Algorithms with Elitism* (EGA) dapat dengan baik menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial. Penelitian [9] mengusulkan penggunaan strategi elitisme dan jarak dalam EGA, penggunaan strategi ini dapat secara signifikan meningkatkan solusi pada *Travelling Salesman Problem* (TSP).

TSP merupakan salah satu masalah optimasi yang dapat menjadi kompleks jika melibatkan banyak titik atau kota. Seorang *salesman* harus memutuskan rute terpendek yang harus dilalui dari kota awal ke beberapa kota tepat satu kali, dan kembali ke kota awal [10],[11]. Pengkodean *ordinal representation* merupakan skema pengkodean yang dapat diterapkan pada operator klasik dan tidak melanggar konsep TSP. Pada makalah ini bertujuan menemukan jumlah individu yang ideal dalam elitisme yang mampu memberikan solusi terbaik untuk masalah optimasi TSP.

## 2. MATERI DAN METODE

### Parameter

Kinerja GA diukur berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan parameter, yaitu probabilitas *crossover*  $pc = 0,2$ , probabilitas mutasi  $pm = 0,01$ , jumlah kromosom berkompetisi = 2, nilai *allele* setiap kromosom dibangkitkan secara acak dengan fungsi *random integer* [20,100], dan percobaan *trial* = 100. Pada setiap percobaan, terdapat parameter yang diubah, yaitu populasi *pop* dan jumlah kota  $n$  (10, 50, 80, dan 100), serta jumlah individu dalam elitisme  $m$  (10%, 20%, 30%, dan 40% dari jumlah populasi). Kondisi berhenti yang digunakan yaitu jumlah generasi  $kg = 1000$ , dan konvergensi  $pk = 90\%$ .

### Fitness

Fungsi *fitness* dari TSP dinyatakan sebagai total jarak dari rute perjalanan *salesman*. *Fitness* terbaik dalam populasi merupakan nilai minimum dari seluruh rute perjalanan yang dinyatakan pada persamaan 1.

$$best = \text{minimum}(f_1(x), f_2(x), \dots, f_{pop}(x)) \dots\dots\dots (1)$$

### Ordinal representation

Pada *ordinal representation*, panjang kromosom sama dengan jumlah kota. Setiap *allele* pada gen harus memenuhi syarat [12]:

- Bilangan bulat dari 1 sampai  $n$ .
- *Allele* pada gen ke-1  $\leq n$
- *Allele* pada gen ke-2  $\leq n-1$
- ...
- ...
- *Allele* pada gen ke- $n = 1$

### Operator evolusi

Operator seleksi yang digunakan yaitu *tournament selection*. Pada *tournament selection*, individu hasil seleksi ditentukan dari pemenang kompetisi dari beberapa individu.

Operator *crossover* bertujuan menghasilkan anak yang masih mewarisi sifat orang tuanya. Pewarisan pada metode *two-point crossover* (TPX) dilakukan dengan mengambil beberapa susunan gen pada kromosom orang tua dari dua titik yang telah ditentukan secara acak [13].

### Mutasi

Pada *ordinal representation*, pengacakan *allele* dari gen terpilih dilakukan dengan syarat nilai *allele* pada gen ke- $i$  yaitu bilangan random integer [1,  $n-i+1$ ].

### Elitisme

Elitisme adalah proses membuat salinan sekumpulan individu dengan *fitness* terbaik agar individu-individu tersebut tidak punah. Ada tiga model elitisme yang digunakan, yaitu:

- Elitisme Model 1: satu individu terbaik digandakan sebanyak  $m$  menggantikan  $m$  individu terburuk.
- Elitisme Model 2:  $m$  individu terbaik menggantikan  $m$  individu terburuk.
- Elitisme Model 3:  $m$  individu terbaik menggantikan  $m$  individu terburuk yang dipilih secara acak dari (100%- $m$ ) individu terburuk.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian TSP dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter pada bagian 2. *Flowchart* algoritma genetika yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada gambar 1. Elitisme dilakukan sebelum operator evolusi dan mutasi terjadi, dengan tujuan menyimpan individu terbaik sebelum terjadi perubahan pada individu-individu dalam populasi. Hasil pengujian berturut-turut disajikan pada tabel 1, tabel 2, tabel 3, tabel 4, dan tabel 5 yang menampilkan rata-rata *fitness* terbaik dan waktu komputasi.

Tabel 1. Pengujian AG tanpa elitisme

<b>Hasil GA untuk kota = 20</b>			
Populasi	Fitness	Generasi	Waktu (detik)
20	413,12	32,10	0,03
50	737,84	111,28	0,33
80	689,76	341,86	1,26
100	668,42	307,00	1,44
rata-rata	627,29	198,06	0,77
<b>Hasil GA untuk kota = 50</b>			
20	956,36	737,38	2,58
50	1848,46	776,72	5,94
80	1831,14	752,80	8,43
100	1797,82	706,94	9,63
rata-rata	1608,45	743,46	6,65
<b>Hasil GA untuk kota = 80</b>			
20	3533,40	545,28	2,89
50	3377,30	672,32	8,78
80	3220,88	675,68	13,17
100	3280,22	743,30	17,17
rata-rata	3352,95	659,15	10,50
<b>Hasil GA untuk kota = 100</b>			
20	4689,02	561,16	3,78
50	4516,30	620,40	9,38
80	4427,30	699,10	16,50
100	4362,44	669,06	20,66
rata-rata	4498,77	637,43	12,58

Tabel 2. Pengujian AG dengan elitisme ( $m = 10\%$ )

<b>Hasil AG untuk kota = 20</b>									
Populasi	Elitisme Model 1			Elitisme Model 2			Elitisme Model 3		
	Fitness	Generasi	Waktu (detik)	Fitness	Generasi	Waktu (detik)	Fitness	Generasi	Waktu (detik)
20	438,28	7,36	0,01	437,10	8,16	0,01	417,18	20,54	0,02
50	837,18	11,94	0,03	821,68	13,14	0,04	740,64	78,44	0,23
80	808,30	12,32	0,05	791,76	15,44	0,06	701,64	243,88	0,90
100	784,96	12,30	0,06	755,88	17,84	0,08	671,56	230,52	1,09
rata-rata	717,18	10,98	0,04	701,61	13,65	0,05	632,76	143,35	0,56
<b>Hasil AG untuk kota = 50</b>									
20	912,62	685,84	2,27	922,26	642,08	2,07	913,40	779,34	2,55
50	1816,18	535,56	4,09	1807,30	511,14	3,80	1802,36	610,14	4,61
80	1832,94	470,32	5,26	1792,20	537,44	6,06	1823,46	484,28	5,49
100	1797,78	495,24	6,67	1787,32	503,66	6,91	1817,08	487,42	6,62
rata-rata	1589,88	546,74	4,57	1577,27	548,58	4,71	1589,08	590,30	4,82
<b>Hasil AG untuk kota = 80</b>									
20	3016,28	911,02	4,84	3019,98	891,56	4,77	3107,16	895,96	4,76
50	2949,22	821,64	10,69	2957,48	812,56	10,50	2978,40	885,28	11,44
80	2861,96	791,56	15,34	2859,16	807,58	15,71	2876,62	819,88	15,98
100	2941,22	689,88	15,99	2909,94	775,26	18,08	2927,16	782,32	18,07
rata-rata	2942,17	803,53	11,72	2936,64	821,74	12,27	2972,34	845,86	12,56

Hasil AG untuk kota = 100									
20	4048,30	918,72	6,17	4044,26	908,98	6,10	4096,62	900,28	6,02
50	3839,04	907,46	13,75	3823,26	899,34	13,67	3876,58	916,54	13,96
80	3747,46	880,42	20,90	3743,56	858,18	20,53	3806,66	889,08	21,21
100	3716,34	837,20	25,66	3718,70	864,36	26,43	3772,72	899,70	27,58
rata-rata	3837,79	885,95	16,62	3832,45	882,72	16,68	3888,15	901,40	17,19

Tabel 3. Pengujian AG dengan elitisme ( $m = 20\%$ )

Hasil AG untuk kota = 20									
Populasi	Elitisme Model 1			Elitisme Model 2			Elitisme Model 3		
	Fitness	Generasi	Waktu (detik)	Fitness	Generasi	Waktu (detik)	Fitness	Generasi	Waktu (detik)
20	453,42	4,42	0,00	453,08	5,72	0,01	424,54	20,78	0,02
50	871,86	6,38	0,02	864,04	7,40	0,02	728,00	105,38	0,31
80	847,10	6,72	0,03	835,82	8,36	0,03	698,28	282,60	1,07
100	810,50	8,60	0,04	791,08	10,90	0,05	678,34	210,92	1,00
rata-rata	745,72	6,53	0,02	736,01	8,10	0,03	632,29	154,92	0,60

Hasil AG untuk kota = 50									
20	1127,24	31,92	0,10	1123,12	36,18	0,12	917,56	770,28	2,52
50	1925,66	139,60	1,07	1904,14	189,28	1,43	1813,52	548,98	5,21
80	1877,46	316,84	3,67	1861,48	329,72	3,73	1832,50	522,76	5,87
100	1821,24	359,68	5,00	1797,46	417,00	5,66	1808,56	496,40	6,86
rata-rata	1687,90	212,01	2,46	1671,55	243,05	2,73	1593,04	584,61	5,11

Hasil AG untuk kota = 80									
20	3020,52	897,30	4,75	2967,02	875,10	4,59	3099,60	888,34	4,69
50	2925,56	823,42	10,66	2909,70	819,84	10,51	2958,62	855,04	11,00
80	2870,08	641,60	12,48	2820,78	763,98	14,83	2876,50	759,34	14,81
100	2916,86	590,52	13,69	2918,30	699,82	15,96	2941,72	734,80	16,73
rata-rata	2933,26	738,21	10,39	2903,95	789,69	11,47	2969,11	809,38	11,81

Hasil AG untuk kota = 100									
20	3936,68	918,36	6,13	3956,20	909,24	6,09	4064,22	915,46	6,25
50	3766,78	883,16	13,68	3774,90	876,42	13,65	3869,68	921,70	14,46
80	3723,94	830,70	19,78	3711,66	838,86	23,47	3797,40	897,24	21,53
100	3728,64	782,70	23,79	3700,54	842,62	25,73	3748,98	846,60	26,24
rata-rata	3789,01	853,73	15,84	3785,83	866,79	17,23	3870,07	895,25	17,12

Tabel 4. Pengujian AG dengan elitisme ( $m = 30\%$ )

Hasil AG untuk kota = 20									
Populasi	Elitisme Model 1			Elitisme Model 2			Elitisme Model 3		
	Fitness	Generasi	Waktu (detik)	Fitness	Generasi	Waktu (detik)	Fitness	Generasi	Waktu (detik)
20	468,04	2,96	0,00	460,56	5,12	0,01	427,56	20,34	0,02
50	891,46	3,88	0,01	870,54	6,66	0,02	747,90	94,94	0,28
80	871,86	4,76	0,02	833,56	9,50	0,04	712,46	311,02	1,16
100	833,02	5,76	0,03	786,22	10,96	0,05	676,08	306,08	1,43
rata-rata	766,10	4,34	0,01	737,72	8,06	0,03	641,00	183,10	0,72

Hasil AG untuk kota = 50									
20	1219,68	9,40	0,03	1187,40	14,40	0,05	940,48	792,14	2,64
50	2265,16	14,78	0,11	2225,54	22,92	0,18	1814,64	652,76	5,17
80	2246,86	16,00	0,18	2130,36	35,10	0,40	1828,04	512,12	5,78
100	2206,32	15,76	0,21	2093,92	36,72	0,50	1802,60	525,32	7,28
rata-rata	1984,51	13,99	0,13	1909,31	27,29	0,28	1596,44	620,59	5,22

Hasil AG untuk kota = 80									
20	3519,66	102,24	0,54	3467,86	144,36	0,77	3135,00	870,86	4,66
50	2927,40	718,70	9,22	2921,76	734,84	9,47	3014,04	858,44	11,03
80	2857,78	634,72	12,29	2841,70	658,96	12,84	2912,68	852,50	16,62
100	2916,40	631,76	14,42	2888,02	681,02	15,65	2951,76	816,78	18,70
rata-rata	3055,31	521,86	9,12	3029,84	554,80	9,68	3003,37	849,65	12,75

Hasil AG untuk kota = 100									
20	3949,82	811,54	5,49	3931,08	869,34	6,90	4154,54	909,70	6,19
50	3741,22	868,88	13,41	3747,48	867,28	13,73	3913,18	942,34	14,67
80	3701,58	825,80	20,06	3663,30	862,08	21,21	3813,08	906,82	22,26
100	3643,60	810,16	25,05	3672,30	785,46	24,73	3782,08	919,34	29,33
rata-rata	3759,06	829,10	16,00	3753,54	846,04	16,64	3915,72	919,55	18,11

Tabel 5. Pengujian AG dengan elitisme ( $m = 40\%$ )

Hasil AG untuk kota = 20									
Populasi	Elitisme Model 1			Elitisme Model 2			Elitisme Model 3		
	<i>Fitness</i>	Generasi	Waktu (detik)	<i>Fitness</i>	Generasi	Waktu (detik)	<i>Fitness</i>	Generasi	Waktu (detik)
20	468,04	2,28	0,00	456,12	3,96	0,00	449,44	15,50	0,02
50	926,06	2,46	0,01	886,24	6,52	0,02	757,66	129,94	0,37
80	895,64	2,92	0,01	850,28	8,14	0,03	728,16	275,62	1,04
100	871,62	2,82	0,01	821,66	8,50	0,04	677,74	294,10	1,38
rata-rata	790,34	2,62	0,01	753,58	6,78	0,02	653,25	178,79	0,70
Hasil AG untuk kota = 50									
20	1252,52	4,48	0,01	1230,96	8,16	0,03	957,26	830,14	2,75
50	2422,06	6,94	0,05	2269,46	18,20	0,15	1848,88	739,02	6,07
80	2338,44	9,52	0,10	2227,68	22,48	0,24	1860,56	638,52	7,19
100	2309,70	9,24	0,12	2211,98	21,46	0,29	1846,72	634,58	8,70
rata-rata	2080,68	7,55	0,07	1985,02	17,58	0,18	1628,36	710,57	6,18
Hasil AG untuk kota = 80									
20	3958,68	13,76	0,07	3826,64	28,32	0,15	3258,20	918,22	4,88
50	3711,54	27,44	0,35	3552,92	55,16	0,71	3088,60	896,34	11,61
80	3471,16	36,34	0,71	3302,14	83,34	1,62	2962,88	922,24	18,05
100	3412,20	50,64	1,20	3274,78	98,78	2,22	3045,50	883,98	20,05
rata-rata	3638,40	32,05	0,58	3489,12	66,40	1,18	3088,80	905,20	13,65
Hasil AG untuk kota = 100									
20	4795,44	47,82	0,32	4690,52	86,40	0,60	4240,92	903,86	6,13
50	3970,28	433,90	6,74	3838,26	651,72	9,79	4041,16	924,18	14,00
80	3701,70	756,48	18,48	3702,30	794,82	18,90	3912,16	933,92	22,06
100	3656,44	727,64	22,82	3660,80	849,78	26,06	3922,38	933,86	28,76
rata-rata	4030,97	491,46	12,09	3972,97	595,68	13,84	4029,16	923,96	17,74

Tabel 6. Rata-rata *fitness* pada semua kondisi

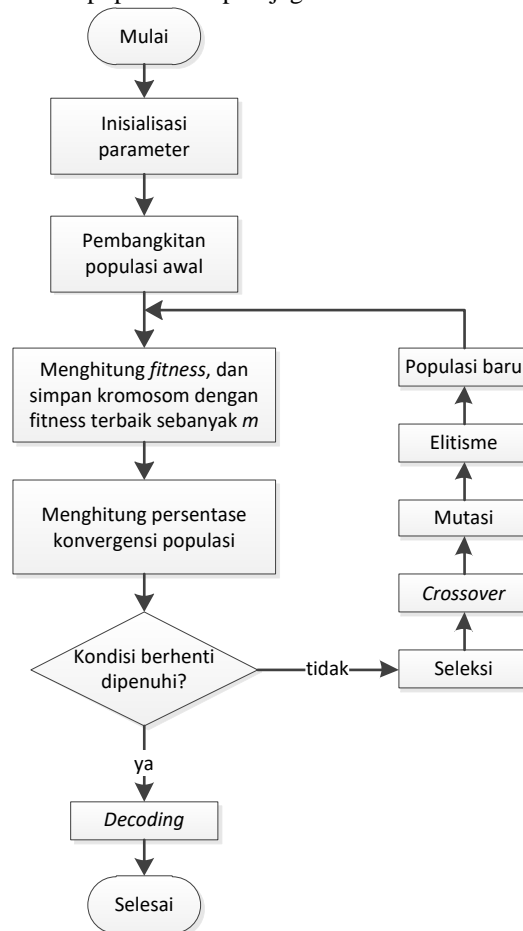
Model	$m$				
	0%	10%	20%	30%	40%
Model 1	-	2271,75	2288,97	2391,24	2635,10
Model 2	-	<b>2261,99</b>	2274,33	2357,60	2550,17
Model 3	-	2270,58	2266,13	2289,13	2349,89
Tanpa elitisme	2521,86	-	-	-	-

Tabel 7. Rata-rata *fitness* pada Model 2 dan  $m = 10\%$

Kota	Populasi			
	20	50	80	100
20	437,10	821,68	791,76	755,88
50	922,26	1807,30	1792,20	1787,32
80	3019,98	2957,48	2859,16	2909,94
100	4044,26	3823,26	3743,56	3718,70
Rata-rata	<b>2105,90</b>	2352,43	2296,67	2292,96

Dari tabel 1-5 dihitung rata-rata *fitness* untuk semua kondisi kota dan populasi yang didasarkan pada nilai  $m$ , hasilnya seperti pada tabel 6. Pada tabel 6 didapatkan bahwa Model 2 dengan nilai  $m = 10\%$  memberikan hasil rata-rata *fitness* minimum. Selanjutnya, dari tabel 6 dicari nilai populasi pada semua kondisi kota yang memberikan hasil hasil rata-rata *fitness* minimum, dan didapat *populasi* = 20, seperti pada tabel 7. Hasil pengujian menyatakan bahwa elitisme Model 2 dengan nilai  $m = 10\%$  dan *populasi* =

20 merupakan parameter yang ideal untuk digunakan dalam penyelesaian TSP. Nilai  $m = 10\%$  menyatakan keberagaman populasi dalam suatu populasi tetap terjaga.



Gambar 1. Flowchart elitisme pada algoritma genetika

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menganalisis kinerja elitisme algoritma genetika pada kasus TSP dengan cara menyalin individu terbaik. Terdapat tiga model elitisme yaitu, Model 1: individu terbaik digandakan satu individu digandakan sebanyak  $m$  menggantikan  $m$  individu terburuk, Model 2:  $m$  individu terbaik menggantikan  $m$  individu terburuk, dan Model 3:  $m$  individu terbaik menggantikan  $m$  individu terburuk yang dipilih secara acak dari  $100\% - m$  individu terburuk. Nilai dari parameter  $m$  yaitu 10%, 20%, 30%, dan 40%. Pengujian dilakukan dengan menggunakan elitisme dan tanpa elitisme pada populasi dan jumlah kota yang berbeda. Hasil pengujian didapatkan bahwa Model 2 dengan  $m = 10\%$  dan  $populasi = 20$  memberikan rata-rata *fitness* paling kecil dari semua model, sehingga parameter ini adalah yang ideal dalam penyelesaian TSP. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan analisis terhadap prosedur elitisme Model 2 untuk kasus lain, dan juga perlu mempertimbangkan keunikan kromosom dalam populasi pada prosedur tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Kumar, "Effect of Polygamy with Selection in Genetic Algorithms," vol. 2, no. 1, p. 6, 2012.
- [2] K. A. De Jong, "An Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems." 5140B University Microfilms No. 76/9381, 1975. [Online]. Available: <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/4507>
- [3] G. Roth and W. Crossley, "Investigation of number of children, number of parents, tournament size, and elitism in genetic algorithms," in *8th Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*, Long Beach, CA, U.S.A., Sep. 2000. doi: [10.2514/6.2000-4846](https://doi.org/10.2514/6.2000-4846).

- [4] W. Cheng, H. Shi, X. Yin, and D. Li, "An Elitism Strategy Based Genetic Algorithm for Streaming Pattern Discovery in Wireless Sensor Networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 4, pp. 419–421, Apr. 2011, doi: [10.1109/LCOMM.2011.022411.101804](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2011.022411.101804).
- [5] E. Zitzler, "An Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems." Doctoral thesis ETH NO. 13398, Zurich: Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Aachen, Germany: Shaker Verlag. [Online]. Available: <https://sop.tik.ee.ethz.ch/publicationListFiles/zitz1999a.pdf>
- [6] E. Zitzler, K. Deb, and L. Thiele, "Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results," *Evolutionary Computation*, vol. 8, no. 2, pp. 173–195, Jun. 2000, doi: [10.1162/106365600568202](https://doi.org/10.1162/106365600568202).
- [7] C. Grosan, M. Oltean, and M. Oltean, "The Role of Elitism in Multiobjective Optimization with Evolutionary Algorithms," *Acta Universitatis Apulensis*, p. 9, Jan. 2003.
- [8] B. Chakraborty and P. Chaudhuri, "On The Use of Genetic Algorithm with Elitism in Robust and Nonparametric Multivariate Analysis," *Austrian Journal of Statistics*, p. 16, Jan. 2003.
- [9] B. V. Natesha, "Adopting elitism-based Genetic Algorithm for minimizing multi-objective problems of IoT service placement in fog computing environment," *Journal of Network and Computer Applications*, p. 10, 2021.
- [10] D. C. Lagos, R. A. Mancilla, P. E. Leal, and F. E. Fox, "Performance measurement of a solution for the travelling salesman problem for routing through the incorporation of service time variability," *Ing. Inv.*, vol. 39, no. 3, pp. 44–49, Sep. 2019, doi: [10.15446/ing.investig.v39n3.81161](https://doi.org/10.15446/ing.investig.v39n3.81161).
- [11] J. N. Macgregor and T. Ormerod, "Human performance on the traveling salesman problem," *Perception & Psychophysics*, vol. 58, no. 4, pp. 527–539, Jun. 1996, doi: [10.3758/BF03213088](https://doi.org/10.3758/BF03213088).
- [12] A. Fanggidae and F. R. Lado, *Algoritma Genetika dan Penerapannya*. Yogyakarta: Teknosain, 2015.
- [13] B. Fernandez, A. Fanggidae, E. S. Y. Pandie, and A. Y. Mauko, "Travelling salesman problem: Greedy single point crossover in ordinal representation," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2017, no. 1, p. 012012, Sep. 2021, doi: [10.1088/1742-6596/2017/1/012012](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2017/1/012012).