

**PENENTUAN JALUR EVAKUASI GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN *NON-DOMINATED SORTING
GENETIC ALGORITHM II (NSGA-II)***

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian dari syarat memperoleh
Gelar Sarjana Matematika*



Oleh
Nizma Dhafin Helmy
NIM. 2009414

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024**

LEMBAR HAK CIPTA

**PENENTUAN JALUR EVAKUASI GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN *NON-DOMINATED SORTING
GENETIC ALGORITHM II (NSGA-II)***

Oleh:

Nizma Dhafin Helmy

2009414

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh Gelar Sarjana
Matematika pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Nizma Dhafin Helmy

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian dengan dicetak

Ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

NIZMA DHAFIN HELMY

**PENENTUAN JALUR EVAKUASI GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN *NON-DOMINATED SORTING*
GENETIC ALGORITHM II (NSGA-II)**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing,

Pembimbing I



Dr. Kartika Yulianti, M.Si.

NIP. 198207282005012001

Pembimbing II



Dewi Rachmatin, S.Si, M.Si

NIP. 196909291994122001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Kartika Yulianti, M.Si.

NIP. 198207282005012001

**PENENTUAN JALUR EVAKUASI GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN *NON-DOMINATED SORTING
GENETIC ALGORITHM II* (NSGA-II)**

ABSTRAK

Jalur evakuasi merupakan aspek penting dalam proses evakuasi. Penelitian ini meneliti masalah penentuan jalur evakuasi yang optimal pada gedung bertingkat, yaitu jalur evakuasi yang dapat dilalui dengan meminimalkan total waktu evakuasi dan meminimalkan kemacetan selama proses evakuasi dengan mempertimbangkan panjang jalan, kapasitas jalan, jumlah pengungsi, dan distribusi pengungsi di dalam gedung. Jalur evakuasi tersebut dicari dengan merepresentasikan gedung sebagai jaringan, kemudian menggunakan *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II) untuk menyelesaikan masalah optimisasi multiobjektif. NSGA-II bekerja dengan cara merepresentasikan solusi dalam bentuk kromosom yang dibentuk dari bilangan biner. Selanjutnya, dilakukan evaluasi pada setiap kromosom terhadap fungsi tujuan. Setelah evaluasi, populasi diurutkan menggunakan *non-dominated sorting* untuk membentuk beberapa *front*. Seleksi *parent* dilakukan berdasarkan urutan *front* dan nilai *crowding distance*. Proses *multi-point crossover* dan *bit-flip mutation* diterapkan untuk membentuk *offspring*. Populasi *parent* dan *offspring* digabungkan dan diseleksi untuk mempertahankan kromosom-kromosom terbaik. NSGA-II dilakukan secara iteratif sampai generasi maksimum tercapai sehingga diperoleh optimal Pareto. Hasil implementasi penentuan jalur evakuasi di gedung Sekolah Pascasarjana UPI menunjukkan bahwa proses evakuasi memerlukan waktu 9 menit dan 26 detik dan rata-rata total kemacetan yang terjadi pada seluruh jalur yang dilalui selama proses evakuasi berlangsung adalah 0,072 orang per panjang jalur.

Kata Kunci: Jalur Evakuasi, Gedung Bertingkat, Optimisasi Multiobjektif, *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*

**EVACUATION ROUTE DETERMINATION FOR HIGH-RISE
BUILDINGS USING NON-DOMINATED SORTING
GENETIC ALGORITHM II (NSGA-II)**

ABSTRACT

Evacuation routes are an important aspect of the evacuation process. This research is to determine the optimal evacuation route in a high-rise building, which is an evacuation route that minimizes the total evacuation time and minimizes congestion during the evacuation process by considering the length of the road, road capacity, number of evacuees, and distribution of evacuees in the building. The evacuation route is determined by representing the building as a network, then using Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) to solve the multiobjective optimization problem. NSGA-II works by representing the solution in the form of chromosomes formed from binary numbers. Subsequently, each chromosome is evaluated against the objective function. After evaluation, the population is sorted using non-dominated sorting to form several fronts. Parent selection is performed based on the front order and crowding distance values. Multipoint crossover and bit-flip mutation processes are applied to form the offspring. The parent and offspring populations are combined and selected to retain the best chromosomes. NSGA-II is performed iteratively until the maximum generation is reached to obtain the Pareto optimum. The implementation results of determining the evacuation route in the UPI School of Postgraduate Studies building show that the evacuation process takes 9 minutes and 26 seconds, and the average total congestion that occurs on all paths traveled during the evacuation process is 0,072 people per road distance.

Key Words: *Evacuation Routes, High-rise Buildings, Multiobjective Optimization, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Graf.....	5
2.2 Graf Berarah	5
2.3 Graf Berbobot.....	6
2.4 Jaringan dan Aliran	6
2.5 Model Multiobjektif Untuk Penentuan Jalur Evakuasi	7
2.6 Optimisasi Multiobjektif	9
2.7 Optimal Pareto.....	10
2.8 Algoritma Genetika	12
2.9 NSGA-II.....	16
2.9.1 <i>Crowding Distance</i>	17
2.9.2 <i>Crowded Tournament Selection Operator</i>	18
2.10 Penelitian Terdahulu	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Deskripsi Masalah	20
3.2 Data Penelitian	20

3.3	Representasi Jaringan	21
3.4	Menyusun Asumsi.....	22
3.5	Pembangunan Model Optimasi	22
3.6	Penyelesaian Model Optimasi	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Data Penelitian	36
4.2	Implementasi	36
4.2.1	Pembangkitan Populasi Awal	42
4.2.2	Mengevaluasi Setiap Kromosom Melalui Fungsi Objektif.....	43
4.2.3	<i>Non-dominated Sorting</i> dan <i>Crowding Distance</i>	44
4.2.4	Pembentukan Parent $Pt + 1$	46
4.2.5	Pembentukan Offspring $Qt + 1$	47
4.2.6	Populasi Gabungan Baru $Rt + 1$	49
4.3	Validasi.....	49
4.4	Analisis dan Interpretasi Hasil Implementasi.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		60
5.1	Kesimpulan.....	60
5.2	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA		62
LAMPIRAN.....		64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Graf G	5
Gambar 2.2 Graf berarah H	6
Gambar 2.3 Graf Berbobot I	6
Gambar 2.4 (Diestel, 2017) Aliran Dalam Jaringan	7
Gambar 2.5 (Inayati & Rahmawati, 2020) Ilustrasi daerah <i>feasible</i> dan <i>Parto-optimal front</i>	11
Gambar 2.6 <i>Flowchart</i> Algoritma NSGA-II	16
Gambar 2.7 (Deb, 2001) Perhitungan <i>Crowding Distance</i>	17
Gambar 3.1 Contoh denah bangunan	28
Gambar 3.2 Representasi jaringan dari denah gedung pada Gambar 3.1	29
Gambar 4.1 Definisi simbol-simbol dalam representasi jaringan	37
Gambar 4.2 Representasi jaringan Lantai 1 gedung sekolah pascasarjana UPI	38
Gambar 4.3 Representasi jaringan lantai 2 gedung sekolah pascasarjana UPI	38
Gambar 4.4 Representasi jaringan lantai 3 gedung sekolah pascasarjana UPI	38
Gambar 4.5 Representasi jaringan lantai 4 gedung sekolah pascasarjana UPI	38
Gambar 4.6 Representasi jaringan lantai 5 gedung sekolah pascasarjana UPI	39
Gambar 4.7 Representasi jaringan lantai 6 gedung sekolah pascasarjana UPI	39
Gambar 4.8 Fungsi untuk membangkitkan populasi awal	43
Gambar 4.9 Dua kromosom yang membentuk populasi Awal	43
Gambar 4.10 Fungsi untuk mengevaluasi setiap kromosom melalui fungsi objektif	44
Gambar 4.11 Nilai fungsi objektif untuk kromosom 1 dan kromosom 2	44
Gambar 4.12 Fungsi untuk <i>Non-dominated Sorting</i>	45
Gambar 4.13 Hasil <i>Non-dominated Sorting</i> pada masing-masing <i>front</i>	45
Gambar 4.14 Fungsi untuk menghitung <i>Crowding Distance</i>	46
Gambar 4.15 Fungsi untuk membentuk <i>Parent Pt + 1</i>	46
Gambar 4.16 Fungsi untuk melakukan <i>Tournament Selection</i>	47
Gambar 4.17 Fungsi untuk melakukan <i>Multi-point Crossover</i>	47
Gambar 4.18 Fungsi untuk melakukan <i>Bit-flip Mutation</i>	48
Gambar 4.19 Populasi offspring $Qt + 1$ setelah proses <i>Crossover</i> dan mutasi	48
Gambar 4.20 Fungsi untuk melakukan NSGA-II	49

Gambar 4.21 Hasil akhir <i>Non-dominated Sorting</i> pada generasi ke 100.....	50
Gambar 4.22 Jalur evakuasi gedung sekolah pascasarjana lantai 6.....	57
Gambar 4.23 Jalur evakuasi gedung sekolah pascasarjana lantai 5.....	57
Gambar 4.24 Jalur evakuasi gedung sekolah pascasarjana lantai 4.....	57
Gambar 4.25 Jalur evakuasi gedung sekolah pascasarjana lantai 3.....	58
Gambar 4.26 Jalur evakuasi gedung sekolah pascasarjana lantai 2.....	58
Gambar 4.27 Jalur evakuasi gedung sekolah pascasarjana lantai 1.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kapasitas jalur evakuasi, volume aliran pengungsi pada jalur evakuasi, dan jarak antara dua simpul	29
Tabel 3.2 Contoh kasus populasi awal	30
Tabel 3.3 Evaluasi kromosom terhadap fungsi tujuan	32
Tabel 4.1 Keterangan simpul sumber dan simpul tujuan pada representasi jaringan gedung sekolah pascasarjana UPI	39
Tabel 4.2 Data representasi jaringan gedung sekolah pascasarjana UPI	40
Tabel 4.3 Data Jumlah Pengungsi Untuk Setiap Simpul Sumber	42
Tabel 4.4 Rute seluruh jalur evakuasi dan total aliran pengungsi.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Denah Gedung Sekolah Pascasarjana UPI Lantai 1	64
Lampiran 2 Denah Gedung Sekolah Pascasarjana UPI Lantai 2	64
Lampiran 3 Denah Gedung Sekolah Pascasarjana UPI Lantai 3	65
Lampiran 4 Denah Gedung Sekolah Pascasarjana UPI Lantai 4	65
Lampiran 5 Denah Gedung Sekolah Pascasarjana UPI Lantai 5	66
Lampiran 6 Denah Gedung Sekolah Pascasarjana UPI Lantai 6	66
Lampiran 7 Kode Program Penentuan Jalur Evakuasi Menggunakan NSGA-II	67
Lampiran 8 Hasil Running Program Validasi	83

DAFTAR PUSTAKA

- Balazs, N. L. (1959). Statistical mechanics of strings. In *Physical Review* (Vol. 113, Issue 5). <https://doi.org/10.1103/PhysRev.113.1178>
- Brossard, E. (2010). *Graph Theory: Network Flow*. 5, 2394–0697.
- Collette, Y., & Siarry, P. (2003). Multiobjective optimization : principles and case studies. In *Decision Engineering*.
- Deb, K. (2001). *Multi-objective Optimization using Evolutionary Algorithms*. John Wiley. <http://www.nber.org/papers/w16019>
- Diestel, R. (2017). *Graph Theory, 5th edition 2017*. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53622-3_1
- Fuady, M., Munadi, R., & Fuady, M. A. K. (2021). Disaster mitigation in Indonesia: between plans and reality. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1087(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1087/1/012011>
- Helbing, D., Farkas, I., & Vicsek, T. (2000). Simulating dynamical features of escape panic. *Nature*, 407(6803), 487–490. <https://doi.org/10.1038/35035023>
- Hoogendoorn, S. P., & Bovy, P. H. L. (2005). Pedestrian travel behavior modeling. *Networks and Spatial Economics*, 5(2), 193–216. <https://doi.org/10.1007/s11067-005-2629-y>
- Hummeltenberg, W. (2014). Decision Engineering. In *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik – Online-Lexikon*. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/lexikon/daten-wissen/Business-Intelligence/decision-engineering/index.html>
- Inayati, S., & Rahmawati, R. (2020). Penyelesaian Masalah Optimisasi Multiobjektif Nonlinear Menggunakan Pendekatan Pareto Front dalam Metode Pembobotan. *Jurnal Matematika Integratif*, 16(2), 139. <https://doi.org/10.24198/jmi.v16.n2.29278.139-149>
- Kurniawan, L. dkk. (2021). *Penyusunan Rencana Evakuasi Bencana Banjir*.
- Li, Q., et. al. (2010). Multiobjective evacuation route assignment model based on genetic algorithm. *2010 18th International Conference on Geoinformatics, Geoinformatics 2010*. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2010>.

5567485

- Loland, L., et. al. (2013). *Groupwise Evacuation With Genetic Algorithms*.
- Løvås, G. G. (1994). Modeling and simulation of pedestrian traffic flow. *Transportation Research Part B*, 28(6), 429–443. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0191-2615(94)90013-2)
- Milazzo, J. S. et. al. (1998). Effect of pedestrians on capacity of signalized intersections. *Transportation Research Record*, 1646, 37–46. <https://doi.org/10.3141/1646-05>
- Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in Construction*, 17(4), 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.06.005>
- Staudt, A. et. al. (2002). Die rolle der zytokine bei der herzinsuffizienz. *Herz*, 27(7), 691–698. <https://doi.org/10.1007/s00059-002-2420-5>
- Yamamoto, K., & Li, X. (2017). Safety Evaluation of Evacuation Routes in Central Tokyo Assuming a Large-Scale Evacuation in Case of Earthquake Disasters. *Journal of Risk and Financial Management*, 10(3), 14. <https://doi.org/10.3390/jrfm10030014>
- Yusoff, M., Ariffin, J., & Mohamed, A. (2008). Optimization approaches for macroscopic emergency evacuation planning: A survey. *Proceedings - International Symposium on Information Technology 2008, ITSIM*, 4. <https://doi.org/10.1109/ITSIM.2008.4631982>
- Zitzler, E. (1999). Evolutionary Algorithms for Multiobjective Optimization: Methods and Applications. *Ph.D. Thesis*, 30, 132.