

**IMPLEMENTASI GABUNGAN ALGORITMA
BACKTRACKING DAN *SIMULATED ANNEALING* UNTUK
MENYELESAIKAN PUZZLE SUDOKU**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Matematika



Oleh:

Silmi Nur Jannah

NIM 2100376

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2025**

LEMBAR HAK CIPTA

**IMPLEMENTASI GABUNGAN ALGORITMA
BACKTRACKING DAN *SIMULATED ANNEALING* UNTUK
MENYELESAIKAN PUZZLE SUDOKU**

Oleh:

Silmi Nur Jannah

NIM 2100376

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Matematika
pada Program Studi Matematika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam

© Silmi Nur Jannah 2025

Universitas Pendidikan Indonesia

April 2025

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

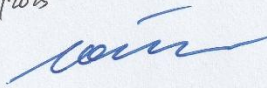
SILMI NUR JANNAH

IMPLEMENTASI GABUNGAN ALGORITMA
BACKTRACKING DAN *SIMULATED ANNEALING* UNTUK
MENYELESAIKAN PUZZLE SUDOKU

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I

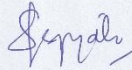
Acc 9/9/2025



Dr. Khusnul Novianingsih, S.Si., M.Si.

NIP.197711282008122001

Pembimbing II



Ririn Sispivati, S.Si., M.Si.

NIP. 198106282005012001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Kartika Yulianti, M.Si.

NIP.198207282005012001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Implementasi Gabungan Algoritma *Backtracking* dan *Simulated Annealing* untuk Menyelesaikan Puzzle Sudoku” ini berserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, 8 April 2025

Yang membuat pernyataan

Silmi Nur Jannah

2100376

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Implementasi Gabungan Algoritma *Backtracking* dan *Simulated Annealing* untuk Menyelesaikan Puzzle Sudoku". Skripsi ini diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini. Harapannya skripsi ini dapat memberikan ilmu pengetahuan mengenai penelitian yang dilakukan oleh penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan yang disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini. Demikian skripsi ini penulis susun, semoga menjadi manfaat dan mohon maaf apabila ada kekurangan.

Bandung, 10 April 2025

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan memanjatkan puji serta syukur kehadiran Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, dan do'a dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yang telah memberikan dukungan moral, dukungan materil, kasih sayang, semangat, serta do'a yang terus dipanjatkan untuk penulis sehingga penyusunan skripsi ini bisa berjalan dengan lancar.
2. Ibu Dr. Khusnul Novianingsih, M.Si., S.Si., selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Ririn Sispiyati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, masukan, dan motivasi yang banyak membantu penulis dari awal hingga akhir penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Hj. Dewi Rachmatin, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktunya untuk membantu dalam pendampingan akademik perkuliahan, memberikan arahan, dan motivasi yang banyak membantu penulis dari awal perkuliahan.
4. Seluruh dosen dan civitas akademika di lingkungan Departemen Pendidikan Matematika, Universitas Pendidikan Indonesia.
5. Teman-teman kelas Matematika D angkatan 2021 yang telah kebersamaan penulis selama kuliah.
6. Pihak-pihak yang tidak dapat penulis cantumkan namanya, yang telah secara langsung dan/atau tidak langsung memberikan saran dan dukungan, memberi rasa senang, sedih, aman, selama proses penulisan skripsi ini sehingga memotivasi penulis untuk menyelesaikannya.

Semoga dukungan, do'a, bantuan, dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan berkali-kali lipat dari Allah SWT.

ABSTRAK

Puzzle Sudoku adalah salah satu jenis permasalahan kombinatorial yang dapat diselesaikan menggunakan berbagai metode pencarian solusi. Algoritma *Backtracking* adalah metode yang umum digunakan karena jaminan didapatkannya solusi optimal meskipun kurang efisien untuk puzzle berukuran besar. Di sisi lain, Algoritma *Simulated Annealing* mampu mencari solusi optimal dengan cepat, akan tetapi bergantung pada solusi awalnya. Penelitian ini mengusulkan algoritma gabungan antara Algoritma *Backtracking* dan *Simulated Annealing* untuk meningkatkan efisiensi dalam menyelesaikan Puzzle Sudoku. Proses penyelesaian dimulai dengan menentukan parameter-parameter *Simulated Annealing*, diikuti dengan pengisian sebagian puzzle menggunakan Algoritma *Backtracking*. Sel kosong yang tersisa diisi dengan angka acak, kemudian dievaluasi jumlah pelanggaran berdasarkan aturan Puzzle Sudoku. Selanjutnya, proses pencarian solusi optimal dilakukan dengan menukar isi sel selain angka petunjuk dan menurunkan temperatur secara bertahap hingga tidak ada pelanggaran yang tersisa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pendekatan gabungan ini mampu menyelesaikan Puzzle Sudoku secara optimal dengan waktu komputasi yang lebih singkat dalam menyelesaikan Sudoku berukuran 20×20 dibandingkan dengan penggunaan Algoritma *Backtracking* atau *Simulated Annealing* yang dilakukan secara terpisah. Pendekatan ini menjadikannya alternatif yang efektif dalam pemecahan teka-teki Sudoku secara optimal.

Kata kunci: Sudoku, *Backtracking*, *Simulated Annealing*, Optimisasi

ABSTRACT

Sudoku puzzles are a type of combinatorial problem that can be solved using various solution-searching methods. The Backtracking algorithm is commonly used due to its guarantee of finding an optimal solution; however, it becomes inefficient for larger puzzle sizes. On the other hand, the Simulated Annealing algorithm can quickly find an optimal solution but is highly dependent on its initial solution. This study proposes a hybrid approach combining the Backtracking and Simulated Annealing algorithms to improve efficiency in solving Sudoku puzzles. The solution process begins with determining the parameters for Simulated Annealing, followed by partially filling the puzzle using the Backtracking algorithm. The remaining empty cells are randomly filled, and the number of rule violations is evaluated based on Sudoku constraints. The optimization process is then performed by swapping the values of non-given cells and gradually lowering the temperature until no rule violations remain. Experimental results show that this combined approach is able to solve Sudoku puzzles optimally with a shorter computation time in solving 20×20 Sudoku compared to the use of Backtracking or Simulated Annealing algorithms performed separately. This approach makes it an effective alternative in solving Sudoku puzzles optimally.

Keywords: *Sudoku, Backtracking, Simulated Annealing, Optimization.*

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sudoku	5
2.2 <i>Linear Programming</i>	6
2.3 Algoritma <i>Backtracking</i>	7
2.4 <i>Simulated Annealing</i>	9
2.5 Fungsi <i>benchmark</i>	11
2.6 Penelitian yang relevan	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	14
3.1 Deskripsi Masalah.....	14
3.2 Tahapan Penelitian	14
3.3 Model Optimasi.....	16
3.4 Teknik Penyelesaian Model	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Model Optimisasi	22
4.2 Teknik Penyelesaian	23

4.3	Validasi.....	26
4.4	Implementasi.....	30
4.4.1	Puzzle Sudoku 9×9	30
4.4.2	Analisis Kinerja Metode.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		41
DAFTAR PUSTAKA.....		43
LAMPIRAN.....		46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kriteria tingkat kesulitan Puzzle Sudoku berdasarkan jumlah petunjuk yang diberikan	6
Tabel 4. 1 Hasil komputasi dengan $\alpha = 0,99$	35
Tabel 4. 2 Hasil komputasi dengan $\alpha = 0,995$	36
Tabel 4. 3 Hasil perbandingan Algoritma <i>Backtracking</i> , <i>Simulated Annealing</i> , dan <i>Backtracking-Simulated Annealing</i>	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Puzzle Sudoku	2
Gambar 1. 2 Solusi Puzzle Sudoku pada Gambar 1.1.....	2
Gambar 2. 1 Puzzle Sudoku (©The Times, 2005, num.295) dan solusinya	5
Gambar 2. 2 Contoh Pohon Solusi.....	8
Gambar 2. 3 Ilustrasi Proses <i>Simulated Annealing</i>	9
Gambar 3. 1 Puzzle Sudoku 9×9 yang direkonstruksi dengan penukaran sel hingga diperoleh solusi optimal.....	19
Gambar 3. 2 Cara kerja penggabungan Algoritma <i>Backtracking</i> dan <i>Simulated Annealing</i> untuk menyelesaikan Puzzle Sudoku berukuran $n \times n$..	21
Gambar 4. 1 Puzzle Sudoku 4×4	23
Gambar 4. 2 Proses implementasi Algoritma <i>Backtracking</i> pada baris ke-1	24
Gambar 4. 3 Solusi awal yang didapatkan dari implementasi Algoritma <i>Backtracking</i>	25
Gambar 4. 4 Solusi setelah sel kosong diisi angka acak beserta total pelanggaran yang terjadi	25
Gambar 4. 5 Solusi <i>neighborhood</i> pertama setelah dilakukan pertukaran sel	25
Gambar 4. 6 Hasil tes algoritma gabungan dengan Fungsi <i>Sphere</i>	27
Gambar 4. 7 Hasil tes algoritma dengan Fungsi <i>Rosenbrock</i>	27
Gambar 4. 8 Solusi <i>Backtracking</i> yang dihasilkan oleh program.....	28
Gambar 4. 9 Solusi setelah program mengisi sel kosong dengan angka acak beserta posisi pelanggaran terjadi	28
Gambar 4. 10 Solusi optimal yang diperoleh oleh program setelah salah satu kriteria pemberhentian tercapai	29
Gambar 4. 11 Grafik penurunan pelanggaran pada setiap iterasi	30
Gambar 4. 12 Puzzle Sudoku berukuran 9×9 pada program.....	31
Gambar 4. 13 Puzzle Sudoku yang telah diisi hingga baris ke-3 dengan Algoritma <i>Backtracking</i> oleh program	31
Gambar 4. 14 Puzzle Sudoku yang telah diisi angka acak dan dihitung jumlah pelanggarannya.....	32
Gambar 4. 15 Salah satu solusi optimal yang diperoleh program untuk Puzzle Sudoku.....	33
Gambar 4. 16 Grafik penurunan pelanggaran hingga diperoleh solusi optimal ...	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Coding</i> algoritma gabungan untuk Puzzle Sudoku berukuran 4 × 4.....	46
Lampiran 2. <i>Coding</i> algoritma gabungan untuk Puzzle Sudoku berukuran 9 × 9.....	48
Lampiran 3. <i>Coding</i> Puzzle Sudoku berukuran 6 × 6	50
Lampiran 4. <i>Coding</i> Puzzle Sudoku berukuran 8 × 8	50
Lampiran 5. <i>Coding</i> Puzzle Sudoku berukuran 10 × 10.....	51
Lampiran 6. <i>Coding</i> Puzzle Sudoku berukuran 12 × 12.....	51
Lampiran 7. <i>Coding</i> Puzzle Sudoku berukuran 14 × 14.....	51
Lampiran 8. <i>Coding</i> Puzzle Sudoku berukuran 15 × 15.....	52
Lampiran 9. <i>Coding</i> Puzzle Sudoku berukuran 16 × 16.....	52
Lampiran 10. <i>Coding</i> Puzzle Sudoku berukuran 20 × 20	52

DAFTAR PUSTAKA

- Adorio, E. P. (2005). MVF - Multivariate Test Functions Library in C for Unconstrained Global Optimization. Diambil kembali dari <http://geocities.ws/eadorio/mvf.pdf>
- Chartier, T. P., Bartlett, A. C., Langville, A. N., & Rankin, T. D. (2008). An Integer Programming Model for the Sudoku Problem.
- Delahaye, D., Chaimatanan, S., & Mongeau, M. (2019). Simulated Annealing: From Basics to Applications. Dalam M. Gendreau, & J.-Y. Potvin (Penyunt.), *Handbook of Metaheuristics* (3 ed., Vol. 272, hal. 1-35). Springer Cham. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-91086-4>
- Digalakis, J., & Margaritis, K. (2000). An Experimental Study of Benchmarking Functions for Genetic Algorithms. Dalam *Smc 2000 conference proceedings. 2000 ieee international conference on systems, man and cybernetics. 'cybernetics evolving to systems, humans, organizations, and their complex interactions'* (Vol. 5, hal. 3810-3815). doi:10.1109/ICSMC.2000.886604
- Harrysson, M., & Laestander, H. (2014). *Solving Sudoku Efficiently with Dancing Links*. KTH Computer Science and Communication. Dipetik March 20, 2024, dari <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:117446585>
- Indriyono, B., Pamungkas, N., Pratama, Z., Mintorini, E., Dimentieva, I., & Mellati, P. (2023). Comparative Analysis of the Performance Testing Results of the Backtracking and Genetics Algorithm in Solving Sudoku Games. *International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR)*, 5(1), 29-35. doi:<https://doi.org/10.25139/ijair.v5i1.6501>
- Jana, S., Maji, A. K., & Pal, R. K. (2015). A Novel Sudoku Solving Technique Using Column Based Permutation. Dalam *2015 International Symposium on Advanced Computing and Communication (ISACC)* (hal. 71-77). India: IEEE. doi:10.1109/ISACC.2015.7377318
- Jones, S., Roach, P., & Perkins, S. (2007). *Properties of Sudoku Puzzles*. Research Gate. Dipetik 2024, dari https://www.researchgate.net/publication/264572738_Properties_of_Sudoku_Puzzles/
- Kamal, S., Chawla, S. S., & Goel, N. (2015). Detection of Sudoku puzzle Using Image Processing and Solving by Backtracking, Simulated Annealing and Genetic Algorithms: A Comparative Analysis. *2015 Third International Conference on Image Information Processing (ICIIP)* (hal. 179-184). IEEE. doi:10.1109/ICIIP.2015.7414762.

- Lewis, R. (2007). Metaheuristics Can Solve Sudoku Puzzles. *Journal of Heuristics*, 13, 387-401. doi:<https://doi.org/10.1007/s10732-007-9012-8>
- Luenberger, D. G., & Ye, Y. (2016). Basic Properties of Linear Programs. Dalam *Linear and Nonlinear Programming* (4 ed., hal. 11-31). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-18842-3_2
- Lundy, M., & Mees, A. (1986). Convergence of An Annealing Algorithm. *Mathematical Programming*, 34(1), 111-124. doi:10.1007/BF01582166
- Maji, A. K., Jana, S., Roy, S., & Pal, R. K. (2014). An Exhaustive Study on Different Sudoku Solving Techniques. *International Journal of Computer Science Issues*, 11(2), 247-253. Dipetik 2024, dari www.IJCSI.org
- Panggabean, H. P. (2004). Algoritma Simulated Annealing untuk Pembentukan Sel Mesin dengan Dua Tipe Fungsi Objektif dan Dua Cara Pembatasan Sel. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik Industri*, 6(1), 10-24. doi:<https://doi.org/10.9744/jti.6.1.10-24>
- Picheny, V., Wagner, T., & Ginsbourger, D. (2013). A benchmark of kriging-based infill criteria for noisy optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48(3), 607-626. doi:<https://doi.org/10.1007/s00158-013-0919-4>
- Rahayu, D. S., Suryapratama, A., Amongsaufa, A. Z., & Koloay, B. I. (2017). Evaluasi Algoritma Runut Balik dan Simulated Annealing Pada Permainan Sudoku. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 3(1). doi:10.28932/jutisi.v3i1.592
- Santos-García, G., & Palomino, M. (2007). Solving Sudoku Puzzles with Rewriting Rules. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 176(4), 79-93. doi:<https://doi.org/10.1016/j.entcs.2007.06.009>
- Sari, R. D. (2008). Analisis Penyelesaian Puzzle Sudoku dengan Menerapkan Algoritma Backtracking Memanfaatkan Bahasa Pemrograman Visual Basic 6.0. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 2(2), 1-18. Dipetik March 13, 2024, dari <https://jurnal.stmikasia.ac.id/index.php/jitika/article/view/30>
- Weaver, C. (2020). Strategies and Algorithms of Sudoku. *Mathematics Senior Capstone Papers*, 22. Dipetik 2024, dari <https://digitalcommons.latech.edu/mathematics-senior-capstone-papers/22/>
- Widjaja, V. S., & Sudirman, D. Z. (2013). Implementasi Algoritma Backtracking Dengan Optimasi Menggunakan Teknik Hidden Single Pada Penyelesaian Permainan Sudoku. Dipetik 2024, dari <https://www.semanticscholar.org/paper/Implementasi-Algoritma-Backtracking-Dengan-Optimasi-Widjaja-Sudirman/9b0bbf53448ccad40c6fa77a9757c865b343a840>

- Winston, W. L. (2004). *Operations Research Application and Algorithms* (4 ed.). Thomson .
- Yusuf, A., & Hendra, H. (2013, September). Penyelesaian Puzzle Sudoku Menggunakan Algoritma Brute Force dan Backtracking. *Techno Nusa Mandiri*, 10(1), 207-215. Dipetik 2024, dari <https://www.neliti.com/id/publications/227326/penyelesaian-puzzle-sudoku-menggunakan-algoritma-brute-force-dan-backtracking#cite>
- Zomaya, A. Y., & Kazman, R. (2010). Simulated Annealing Techniques. Dalam *Algorithms and Theory of Computation Handbook* (2 ed., hal. 33). Chapman & Hall/CRC.