PENERAPAN ALGORITMA WARNSDORFF DALAM IDENTIFIKASI LINTASAN DAN SIRKUIT HAMILTON PADA GRAF SEDERHANA

FADILATUL AMALIA
NIM H1011201041

SKRIPSI

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2024

PENERAPAN ALGORITMA WARNSDORFF DALAM IDENTIFIKASI LINTASAN DAN SIRKUIT HAMILTON PADA GRAF SEDERHANA

FADILATUL AMALIA
NIM H1011201041

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Matematika pada Program Studi Matematika

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2024

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Penerapan Algoritma Warnsdorff dalam Identifikasi Lintasan dan Sirkuit Hamilton pada Graf Sederhana
Nama Mahasiswa	: Fadilatul Amalia
NIM	: H1011201041
Jurusan/Program Studi	: Matematika
Tanggal Lulus	: 10 Desember 2024
SK Pembimbing	: No. 692/UN22.8/TD.06/2024/Tanggal 1 Maret 2024
SK Penguji	: No. 4094/UN22.8/TD.06/2024/Tanggal 3 Desember 2024

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Nilamsari Kusumastuti, S.Si., M.Sc.	Yudhi, S.Si., M.Si.
NIP. 198105102005012003	NIP. 198504072019031004

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Meliana Pasaribu, S.Pd., M.Sc.	Onelia Rochmah, S.Si., M.Sc.
NIP. 198710192019032006	NIP. 199502112024062003

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Dr. Nilamsari Kusumastuti, S.Si., M.Sc.	Yudhi, S.Si., M.Si.
NIP. 198105102005012003	NIP. 198504072019031004

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, M.Si
NIP. 197108220000031001

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Fadilatul Amalia
NIM	: H1011201041
Program Studi/ Jurusan	: Matematika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, Desember 2024



Fadilatul Amalia
NIM H1011201041

Dipindai dengan CamScanner

Penerapan Algoritma Warnsdorff dalam Identifikasi Lintasan dan Sirkuit Hamilton pada Graf Sederhana

Abstrak

Graf Hamilton adalah salah satu konsep dalam teori graf yang berkaitan dengan lintasan yang mengunjungi setiap simpul tepat satu kali sebelum kembali ke simpul awal dalam kasus sirkuit Hamilton. Penelitian ini berfokus untuk menentukan apakah suatu graf memiliki lintasan atau sirkuit Hamilton dengan menggunakan algoritma Warnsdorff. Algoritma Warnsdorff awalnya dikembangkan untuk menyelesaikan permainan Knight's Tour pada papan catur dengan memilih simpul yang memiliki derajat terkecil untuk mengurangi kemungkinan terjebak dalam kondisi tanpa langkah lanjutan. Namun, algoritma ini memiliki kelemahan karena tidak selalu berhasil menemukan lintasan Hamilton pada berbagai jenis graf. Oleh karena itu, penelitian ini memodifikasi algoritma Warnsdorff dengan strategi pemilihan simpul awal berdasarkan derajat terkecil dan menerapkan mekanisme pencarian ulang jika lintasan Hamilton tidak ditemukan. Jika tetap tidak ditemukan, maka simpul awal akan diganti dengan simpul berderajat terkecil berikutnya hingga lintasan ditemukan atau seluruh kemungkinan telah diuji. Modifikasi ini diharapkan dapat meningkatkan peluang algoritma dalam menemukan lintasan Hamilton dibandingkan dengan algoritma Warnsdorff yang belum dimodifikasi. Metodologi penelitian mencakup penerapan algoritma Warnsdorff yang telah dimodifikasi pada berbagai graf sederhana serta analisis kinerjanya dalam menemukan lintasan Hamilton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi algoritma Warnsdorff dapat mengidentifikasi lintasan Hamilton dalam beberapa struktur graf. Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa meskipun modifikasi algoritma Warnsdorff meningkatkan keberhasilannya dalam menemukan lintasan Hamilton, pengembangan lebih lanjut masih diperlukan agar lebih andal dalam menangani graf dengan struktur yang lebih kompleks.

Kata kunci: Heuristik, Identifikasi Lintasan, Modifikasi Algoritma.

Implementation of the Warnsdorff Algorithm in Identifying Hamiltonian Paths and Circuits in Simple Graphs

Abstract

Graph Hamilton is one of the concepts in graph theory related to a path that visits each vertex exactly once before returning to the starting vertex in the case of a Hamiltonian circuit. This research focuses on determining whether a graph has a Hamiltonian path or circuit using the Warnsdorff algorithm. The Warnsdorff algorithm was originally developed to solve the Knight's Tour problem on a chessboard by selecting the vertex with the smallest degree to reduce the likelihood of getting stuck without any further moves. However, this algorithm has a weakness as it does not always succeed in finding a Hamiltonian path in various types of graphs. Therefore, this study modifies the Warnsdorff algorithm by implementing a strategy of selecting the starting vertex based on the smallest degree and applying a re-search mechanism if a Hamiltonian path is not found. If the path is still not found, the starting vertex is replaced with the next smallest-degree vertex until a path is found or all possibilities have been tested. This modification is expected to increase the algorithm's chances of finding a Hamiltonian path compared to the unmodified Warnsdorff algorithm. The research methodology includes applying the modified Warnsdorff algorithm to various simple graphs and analyzing its performance in finding Hamiltonian paths. The results show that the modified Warnsdorff algorithm can identify Hamiltonian paths in certain graph structures. The conclusion of this study confirms that although modifying the Warnsdorff algorithm improves its success in finding Hamiltonian paths, further development is still necessary to make it more reliable in handling graphs with more complex structures.

Keywords: *Algorithm Modification, Heuristic, Path Identification.*

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Penerapan Algoritma Warnsdorff dalam Identifikasi Lintasan dan Sirkuit Hamilton pada Graf Sederhana". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tidak akan berhasil tanpa bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rasa hormat penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral, serta motivasi yang tiada henti.
2. Ibu Dr. Nilamsari Kusumastuti, M.Sc. dan Bapak Yudhi, M.Si. selaku dosen pembimbing skripsi sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah membimbing, memberikan saran, dan nasihat kepada penulis.
3. Ibu Meliana Pasaribu, S.Pd., M.Sc. selaku dosen penguji pertama dan Ibu Onelia Rochmah, S.Si., M.Sc. selaku dosen penguji kedua yang telah memberikan arahan, kritikan, dan masukan kepada penulis.
4. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan seperjuangan di Matematika 2020 yang selalu mendampingi dan memberikan semangat dalam setiap proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi pembaca khususnya Mahasiswa FMIPA.

Pontianak, Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK iii
Abstrak iv
Abstract v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR SIMBOL xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Tinjauan Pustaka 4
1.6 Metodologi penelitian 5
BAB II LANDASAN TEORI 8
2.1 Definisi dan Konsep Dasar Graf 8
2.2 Graf Hamilton 14
2.3 Algoritma Warnsdorff 19
2.4 Penerapan Algoritma Warnsdorff pada Graf Hamilton 22
BAB III PENERAPAN ALGORITMA WARNSDORFF PADA GRAF 25
3.1 Implementasi Algoritma Warnsdorff 25
3.2 Analisis Hasil 106
BAB IV KESIMPULAN 115
DAFTAR PUSTAKA 116
LAMPIRAN 117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Flowchart implementasi algoritma Warnsdorff pada graf 7
Gambar 2.1 Tiga buah graf (a) Graf Sederhana, (b) Graf Ganda (c) Graf Semu.... 8
Gambar 2.2 Graf $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ 13
Gambar 2.3 Graf C_3, C_4, C_5, C_6 14
Gambar 2.4 Graf (a) Graf dengan $n = 4, r = 3$ (b) Graf dengan $n = 6, r = 3$ (c) Graf dengan $n = 8, r = 3$ 14
Gambar 2.5 Graf *Traveller's Dodecahedron* 15
Gambar 2.6 (a) Graf Hamilton (b) Bukan graf Hamilton 16
Gambar 2.7 Graf G_1 dan Graf G_2 17
Gambar 2.8 Kotak 1 21
Gambar 2.9 Kotak 2 21
Gambar 2.10 Kotak 3 21
Gambar 2.11 Kotak 4 21
Gambar 2.12 Kotak 5 22
Gambar 2.13 Kotak 6 22
Gambar 2.14 Visualisasi segala kemungkinan pergerakan kuda di papan catur .. 22
Gambar 2.15 Graf Hamilton 1 23
Gambar 2.16 Graf Hamilton 2 23
Gambar 2.17 Graf Hamilton 3 23
Gambar 2.18 Graf Hamilton 4 24
Gambar 2.19 Graf Hamilton 5 24
Gambar 2.20 Graf Hamilton 6 24
Gambar 3.1 Graf $G2$ 26
Gambar 3.2 Graf $G2$ (1) 27
Gambar 3.3 Graf $G2$ (2) 27
Gambar 3.4 Graf $G2$ (3) 28
Gambar 3.5 Graf $G2$ (4) 28
Gambar 3.6 Graf $G2$ (5) 29
Gambar 3.7 Graf $G2$ (6) 30
Gambar 3.8 Graf $G2$ (7) 30
Gambar 3.9 Graf $G2$ (8) 31
Gambar 3.10 Graf $G2$ (9) 32
Gambar 3.11 Graf $G2$ (10) 32
Gambar 3.12 Graf $G2$ (11) 33
Gambar 3.13 Graf $G2$ (12) 34
Gambar 3.14 Graf $G2$ (13) 34
Gambar 3.15 Graf $G2$ (14) 35
Gambar 3.16 Graf $G2$ (15) 35
Gambar 3.17 Graf $G2$ (16) 36

Gambar 3.18 Graf $G2$ (17) 37
Gambar 3.19 Graf $G2$ (18) 37
Gambar 3.20 Graf $G2$ (19) 38
Gambar 3.21 Graf $G2$ (20) 39
Gambar 3.22 Graf $G2$ (21) 39
Gambar 3.23 Graf $G2$ (22) 40
Gambar 3.24 Graf $G2$ (23) 41
Gambar 3.25 Graf $G3$ 41
Gambar 3.26 Graf $G3$ (1) 42
Gambar 3.27 Graf $G3$ (2) 42
Gambar 3.28 Graf $G3$ (3) 43
Gambar 3.29 Graf $G3$ (4) 44
Gambar 3.30 Graf $G3$ (5) 44
Gambar 3.31 Graf $G3$ (6) 45
Gambar 3.32 Graf $G3$ (7) 46
Gambar 3.33 Graf $G4$ 46
Gambar 3.34 Graf $G4$ (1) 47
Gambar 3.35 Graf $G4$ (2) 47
Gambar 3.36 Graf $G4$ (3) 48
Gambar 3. 37 Graf $G4$ (4) 49
Gambar 3. 38 Graf $G4$ (5) 49
Gambar 3.39 Graf $G4$ (6) 50
Gambar 3.40 Graf $G4$ (7) 51
Gambar 3.41 Graf $G4$ (8) 51
Gambar 3.42 Graf $G4$ (9) 52
Gambar 3.43 Graf $G4$ (10) 52
Gambar 3.44 Graf $G4$ (11) 53
Gambar 3.45 Graf $G4$ (12) 54
Gambar 3.46 Graf $G4$ (13) 54
Gambar 3.47 Graf $G4$ (14) 55
Gambar 3.48 Graf $G4$ (15) 55
Gambar 3.49 Graf $G4$ (16) 56
Gambar 3.50 Graf $G4$ (17) 57
Gambar 3. 51 Graf $G4$ (18) 57
Gambar 3.52 Graf $G4$ (19) 58
Gambar 3.53 Graf $G4$ (20) 58
Gambar 3.54 Graf $G4$ (21) 59
Gambar 3.55 Graf $G4$ (22) 60
Gambar 3.56 Graf $G4$ (23) 60
Gambar 3.57 Graf $G4$ (24) 61
Gambar 3.58 Graf $G4$ (25) 62
Gambar 3.59 Graf $G4$ (26) 62

Gambar 3.60 Graf $G4$ (27) 63
Gambar 3.61 Graf $G4$ (28) 63
Gambar 3.62 Graf $G4$ (29) 64
Gambar 3.63 Graf $G4$ (30) 65
Gambar 3.64 Graf $G4$ (31) 65
Gambar 3.65 Graf $G4$ (32) 66
Gambar 3.66 Graf $G4$ (33) 67
Gambar 3.67 Graf $G4$ (34) 67
Gambar 3.68 Graf $G4$ (35) 68
Gambar 3.69 Graf $G4$ (36) 68
Gambar 3.70 Graf $G4$ (37) 69
Gambar 3.71 Graf $G4$ (38) 70
Gambar 3.72 Graf $G4$ (39) 70
Gambar 3.73 Graf $G4$ (40) 71
Gambar 3.74 Graf $G4$ (41) 71
Gambar 3.75 Graf $G4$ (42) 72
Gambar 3.76 Graf $G4$ (43) 73
Gambar 3.77 Graf $G4$ (44) 73
Gambar 3.78 Graf $G4$ (45) 74
Gambar 3.79 Graf $G4$ (46) 75
Gambar 3.80 Graf $G4$ (47) 75
Gambar 3.81 Graf $G4$ (48) 76
Gambar 3.82 Graf $G5$ 77
Gambar 3.83 Graf $G5$ (1) 77
Gambar 3.84 Graf $G5$ (2) 78
Gambar 3.85 Graf $G5$ (3) 79
Gambar 3.86 Graf $G5$ (4) 79
Gambar 3.87 Graf $G5$ (5) 80
Gambar 3.88 Graf $G5$ (6) 81
Gambar 3.89 Graf $G5$ (7) 81
Gambar 3.90 Graf $G5$ (8) 82
Gambar 3.91 Graf $G5$ (9) 83
Gambar 3.92 Graf $G6$ 83
Gambar 3.93 Graf $G6$ (1) 84
Gambar 3.94 Graf $G6$ (2) 84
Gambar 3.95 Graf $G6$ (3) 85
Gambar 3.96 Graf $G6$ (4) 86
Gambar 3.97 Graf $G6$ (5) 86
Gambar 3.98 Graf $G6$ (6) 87
Gambar 3.99 Graf $G7$ 88
Gambar 3.100 Graf $G7$ (1) 89
Gambar 3.101 Graf $G7$ (2) 89

Gambar 3.102 Graf $G7$ (3) 90
Gambar 3.103 Graf $G7$ (4) 91
Gambar 3.104 Graf $G7$ (5) 91
Gambar 3.105 Graf $G7$ (6) 92
Gambar 3.106 Graf $G7$ (7) 93
Gambar 3.107 Graf $G7$ (8) 93
Gambar 3.108 Graf $G7$ (9) 94
Gambar 3.109 Graf $G7$ (10) 94
Gambar 3. 110 Graf $G7$ (11) 95
Gambar 3.111 Graf $G7$ (12) 96
Gambar 3.112 Graf $G7$ (13) 96
Gambar 3.113 Graf $G7$ (14) 97
Gambar 3.114 Graf $G7$ (15) 98
Gambar 3.115 Graf $G7$ (16) 98
Gambar 3.116 Graf $G7$ (17) 99
Gambar 3.117 Graf $G7$ (18) 100
Gambar 3.118 Graf $G7$ (19) 100
Gambar 3.119 Graf $G7$ (20) 101
Gambar 3.120 Graf $G7$ (21) 101
Gambar 3.121 Graf $G7$ (22) 102
Gambar 3.122 Graf $G7$ (23) 103
Gambar 3.123 Graf $G7$ (24) 103
Gambar 3.124 Graf $G7$ (25) 104
Gambar 3.125 Graf $G7$ (26) 104
Gambar 3.126 Graf $G7$ (27) 105
Gambar 3.127 Hasil pengimplementasian algoritma Warnsdorff pada Graf $G2$ 106

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 simpul dan derajat graf G_3 41
Tabel 3.2 Simpul dan derajat graf G_4 46
Tabel 3.3 Simpul dan derajat graf G_5 77
Tabel 3.4 Simpul dan derajat graf G_6 83
Tabel 3.5 Simpul dan derajat graf G_7 88

DAFTAR SIMBOL

V	: Himpunan semua simpul dalam graf
v_i	: Simpul awal atau simpul saat ini
T	: Himpunan simpul pada lintasan Hamilton
$d(v_j)$	: Derajat simpul v_j
$N(v_i)$	: Himpunan simpul di V yang ber-*adjacent* dengan simpul v_i
$\lvert T \cap N(v_j) \rvert$	: Banyaknya elemen T yang ber-*adjacent* dengan simpul v_j
$d'(v_j)$	: Derajat simpul v_j setelah dikurangi dengan banyaknya elemen T yang ber-*adjacent* dengan simpul v_j
$\min\{d'(v_j)\}_{v_j \in N(v_i)}$	: Nilai minimum dari $d'(v_j)$ untuk setiap v_j dengan v_j merupakan elemen $N(v_i)$

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teori graf merupakan salah satu cabang ilmu matematika yang digunakan untuk memodelkan objek-objek diskrit dan hubungan di antara mereka (Munir, 2016). Salah satu pembelajaran dalam teori graf adalah Graf Hamilton. Pada tahun 1895, matematikawan Irlandia Hamilton pertama kali mengusulkan masalah "perjalanan global". Dengan menggunakan 20 simpul dari Dodecahedron untuk mewakili 20 kota besar di dunia, para pelancong diminta untuk menyusuri sisi Dodecahedron, mulai dari salah satu kota dan melewati semua kota lainnya, setiap kota hanya satu kali dilewati, dan akhirnya kembali ke titik awal (Pegg, 2009). Persoalan ini dinamakan mencari sirkuit Hamilton, hal ini memunculkan konsep dalam teori graf yang akhirnya menjadi subjek popular dikalangan para matematikawan.

Sirkuit Hamilton adalah lintasan yang melewati setiap simpul dalam graf tepat satu kali, kecuali simpul awal dan simpul akhir yang dilalui dua kali. Jika lintasan ini tidak kembali ke simpul awal, maka lintasan tersebut disebut lintasan Hamilton. Graf yang mengandung sirkuit Hamilton disebut graf Hamilton, sementara graf yang hanya memiliki lintasan Hamilton dikenal sebagai graf semi-Hamilton (Munir, 2016). Keberadaan lintasan atau sirkuit Hamilton tidak bisa diuji secara cepat, meskipun ada beberapa teorema yang merupakan syarat cukup untuk mengidentifikasi apakah sebuah graf mungkin terdapat sirkuit Hamilton, hal ini tidak selalu dapat mengidentifikasi adanya sirkuit Hamilton dalam sebarang graf, tidak ada cara yang pasti dan sederhana untuk mengidentifikasi apakah suatu graf terdapat sirkuit atau lintasan Hamilton tanpa mengecek secara langsung.

Graf Hamilton merupakan bagian penting dalam teori graf karena graf Hamilton merupakan konsep dasar yang membantu dalam memahami struktur dan sifat graf secara lebih mendalam, membantu dalam mengembangkan dan memahami metode heuristik serta memberikan wawasan tentang bagaimana

simpul-simpul dalam graf saling terhubung (Munir, 2016). Graf Hamilton adalah suatu graf yang menarik perhatian, dikarenakan banyak digunakan pada aplikasi yang cukup luas. Contohnya *Traveling Salesman Problem* atau TSP dengan tujuan untuk menemukan rute terpendek yang mengunjungi setiap kota satu kali dan kembali ke kota asal, lalu mendesain sirkuit Elektronik untuk meminimalkan panjang kawat penghubung, dengan fungsi meningkatkan efisiensi dan kinerja sirkuit, serta digunakan untuk merancang jaringan yang lebih efisien dengan memastikan setiap simpul dalam jaringan dapat saling terhubung dengan rute yang optimal (Makalew dkk., 2024), penggunaan lainnya yaitu untuk menyelesaikan permainan Knight's Tour pada papan catur.

Knight's Tour merupakan permainan yang dimainkan oleh satu orang yang melibatkan kuda pada papan catur. Peraturan dari permainan ini sederhana, pemain hanya perlu memindahkan kuda sehingga kuda tersebut tepat menempati semua petak pada papan catur tepat satu kali dengan langkah gerak kuda sama seperti pada permainan catur yaitu berbentuk L (Nicko dkk., 2018). Jika permainan berhasil diselesaikan dengan kuda kembali ke tempat asal maka lintasan yang terbentuk disebut sirkuit Hamilton atau *close tour*, sedangkan jika permainan berhasil diselesaikan dengan kuda tidak kembali ke tempat asal maka lintasan yang terbentuk disebut lintasan Hamilton atau *open tour* (Serdano dkk., 2019). Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permainan Knight's Tour, diantaranya menggunakan metode De Moivre, algoritma Warnsdorff, algoritma Backtracking, dan algoritma Divide and Conquer (Fauziyah dkk., 2020). Algoritma Warnsdorff lebih baik dari pada algoritma lainnya untuk penyelesaian Knight's Tour karena Algoritma Warnsdorff menggunakan pendekatan heuristik yang meminimalkan backtracking. Dengan memilih simpul dengan derajat yang paling sedikit, algoritma ini cenderung mencapai solusi lebih cepat (Pranav, 2019).

Algoritma Warnsdorff adalah metode heuristik yang digunakan untuk memecahkan masalah Knight's Tour pada papan catur. Algoritma Warnsdorff memiliki relevansi dalam konteks graf Hamilton karena Knight's Tour dapat direpresentasikan sebagai masalah lintasan Hamilton (Pohl, 1967). Jika menganggap setiap kotak pada papan catur sebagai simpul dan setiap langkah kuda

sebagai sisi, maka perjalanan kuda yang sebenarnya adalah lintasan Hamilton dalam graf tersebut. Algoritma Warnsdorff menggunakan strategi yang efektif untuk menemukan lintasan Hamilton dengan meminimalkan kemungkinan *dead-end* (langkah buntu). Hal Ini mencerminkan teknik yang serupa yang diterapkan dalam pencarian lintasan Hamilton pada graf sederhana, di mana pemilihan simpul berikutnya yang paling mengurangi risiko terjebak merupakan kunci keberhasilan.

Meskipun Algoritma Warnsdorff adalah heuristik dan tidak menjamin solusi dalam semua kasus, efektivitasnya dalam memecahkan Knight's Tour dapat menginspirasi teknik serupa dalam mencari lintasan Hamilton pada sebarang graf. Mengingat bahwa keberadaan lintasan atau sirkuit Hamilton sulit diidentifikasi karena beberapa teorema hanya memberi syarat cukup yang tidak selalu memastikan adanya sirkuit Hamilton pada setiap graf. Untuk itu, dikembangkan program berbasis algoritma Warnsdorff yang telah dimodifikasi untuk meningkatkan kemungkinan menemukan lintasan Hamilton. Modifikasi ini dilakukan karena algoritma Warnsdorff asli cenderung kurang efektif pada graf yang lebih kompleks, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih adaptif untuk mempercepat proses pencarian lintasan atau sirkuit Hamilton.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang penulis merumuskan masalah yaitu bagaimana penerapan algoritma Warnsdorff dalam mengidentifikasi lintasan Hamilton pada graf sederhana dan apakah algoritma ini dapat dikembangkan untuk mengidentifikasi lintasan Hamilton pada graf yang lebih kompleks?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka penulis memiliki tujuan sebagai berikut.

1 Menerapkan algoritma Warnsdorff untuk mengidentifikasi lintasan Hamilton pada graf sederhana.
2 Menganalisis efektivitas algoritma Warnsdorff dalam menemukan lintasan Hamilton pada graf sederhana.
3 Mengembangkan algoritma Warnsdorff agar dapat diterapkan untuk mengidentifikasi lintasan Hamilton pada graf yang lebih kompleks.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan dalam penelitian ini dan mencegah pembahasan yang terlalu luas, dilakukan pembatasan terhadap materi yang akan dibahas. Penelitian difokuskan pada penggunaan algoritma Warnsdorff untuk mendeteksi graf Hamilton atau lintasan Hamilton dan jenis graf yang diteliti adalah gabungan dari graf sederhana, graf tak-berarah, graf terhubung, dan graf dengan derajat setiap simpulnya minimal 2.

1.5 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai menguji dan mengembangkan program berbasis algoritma Warnsdorff untuk mendeteksi graf Hamilton atau lintasan Hamilton diselidiki melalui tinjauan literatur. Setelah meneliti beberapa penelitian, ditemukan buku dan artikel yang menjadi dasar dari penelitian ini. Buku yang menjadi dasar penelitian ini yaitu buku karya Munir R (2016), buku karya Irianti A (2024), dan buku karya Rusli M (2018) yang membahas tentang definisi dan konsep dasar graf, jenis-jenis graf, serta konsep graf Hamilton dan lintasan Hamilton, buku Erita S (2022) yang membahas syarat cukup adanya graf Hamilton, lalu buku karya Chartrand G (2015) yang membahas tentang asal usul graf hamilton muncul.

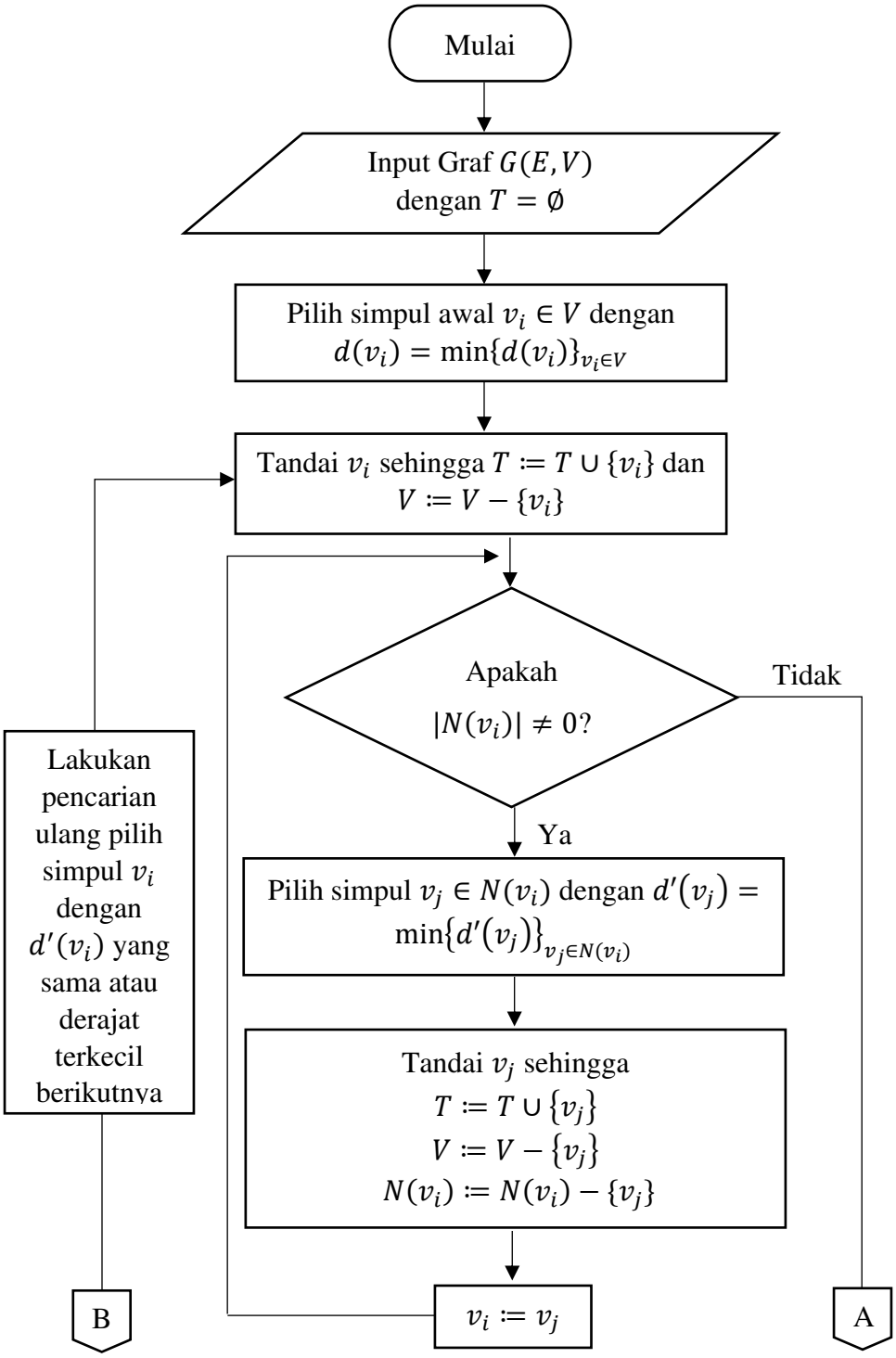
Penelitian ini membahas tentang algoritma Warnsdorff untuk menemukan lintasan Hamilton dengan mengacu pada beberapa jurnal dan artikel yang saling berkaitan. Dasar awal penelitian ini adalah jurnal dari Pohl (1967) yang berjudul *A Method for Finding Hamilton Paths and Knight's Tour*. Jurnal ini memperkenalkan metode dasar dalam mencari lintasan Hamilton dan menyelesaikan masalah *Knight's Tour*, yang kemudian menjadi fondasi penting bagi pengembangan algoritma di masa mendatang. Berdasarkan konsep awal tersebut, M. Pranav (2019) dalam artikelnya *A Comparison of Warnsdorff's Rule and Backtracking for Knight's Tour* mengembangkan studi dengan membandingkan algoritma Warnsdorff dan metode backtracking. Pranav menganalisis kelebihan dan kekurangan algoritma Warnsdorff dalam menyelesaikan masalah *Knight's Tour*, memberikan wawasan tentang efektivitasnya dibandingkan dengan metode lain. Artikel ini memperkuat konsep dasar dari Pohl dengan menguji efisiensi algoritma.

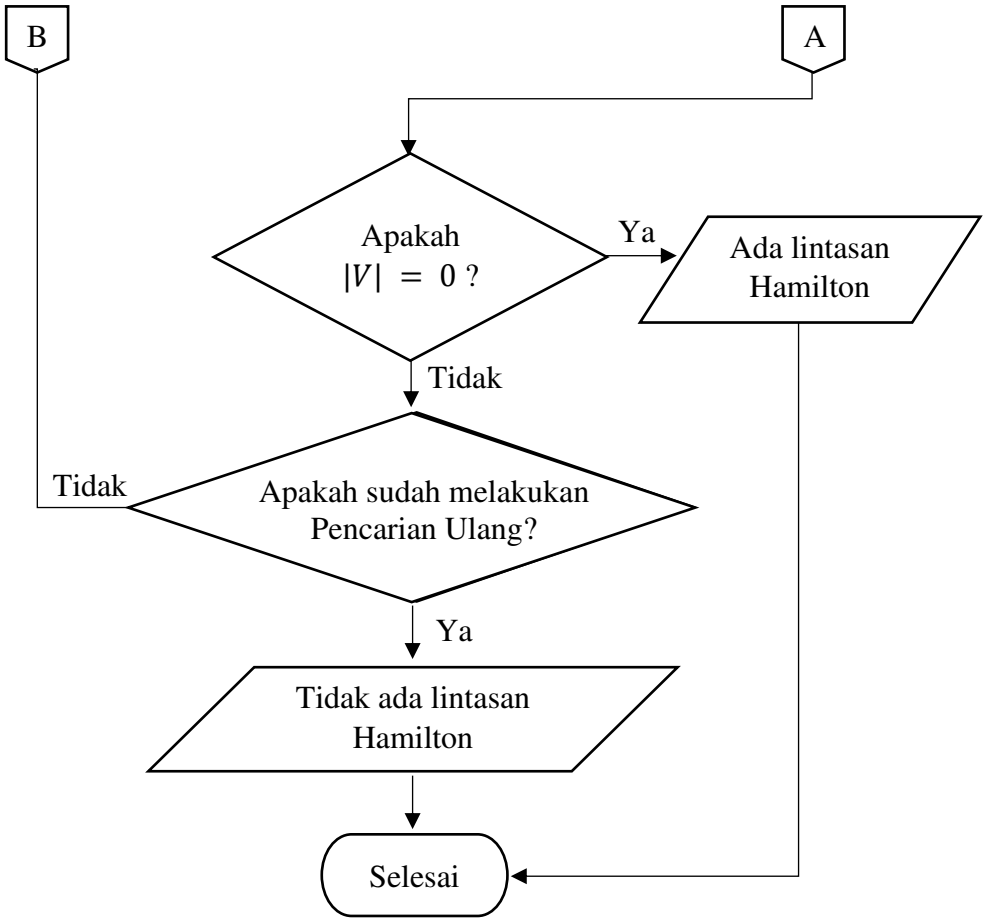
Penelitian dilanjutkan oleh Wida Nurul Fauziyah (2020) dalam artikelnya yang berjudul *Aturan Warnsdorff dan Algoritma Backtracking pada Permainan The Knight's Tour*. Fauziyah memperjelas implementasi algoritma Warnsdorff dengan menjelaskan langkah-langkah penerapannya secara rinci. Terakhir, artikel terbaru dari Edvard Olsen (2024) yang berjudul *On the Convergence of the Warnsdorff's Algorithm on Rectangular Boards* membahas tentang faktor-faktor yang menentukan keberhasilan algoritma dalam menemukan lintasan Hamilton, melengkapi pengetahuan dari penelitian sebelumnya.

1.6 Metodologi penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah studi pustaka, yang melibatkan pencarian, pembacaan, dan pemahaman literatur yang berkaitan dengan graf Hamilton dan algoritma Warnsdorff. Literatur tersebut diperoleh dari berbagai sumber, termasuk buku, jurnal, artikel, dan penelusuran *online*. Langkah-langkah yang akan diambil untuk membahas penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data graf yang akan digunakan untuk pengujian, graf tersebut adalah gabungan dari graf sederhana, graf tak-berarah, graf terhubung, dan graf dengan derajat setiap simpulnya minimal 2.
2. Mengimplementasikan algoritma Warnsdorff dan mengidentifikasi lintasan Hamilton pada data graf. Memodifikasi algoritma Warnsdorff agar lebih optimal dalam menemukan lintasan Hamilton.
3. Menganalisis hasil pengujian untuk mengidentifikasi kekurangan dan kelemahan dari algoritma Warnsdorff dalam mendeteksi lintasan Hamilton.
4. Implementasikan program yang dikembangkan pada graf, di mana program tersebut berbasis Algoritma Warnsdorff yang telah dimodifikasi untuk mendeteksi lintasan Hamilton.


Mulai
Input Graf $G(E,V)$ dengan $T = \emptyset$
Pilih simpul awal $v_i \in V$ dengan $d(v_i) = \min\{d(v_i)\}_{v_i \in V}$
Tandai v_i sehingga $T \coloneqq T \cup \{v_i\}$ dan $V \coloneqq V - \{v_i\}$
Apakah $|N(v_i)| \neq 0$?
Tidak
Ya
Pilih simpul $v_j \in N(v_i)$ dengan $d'(v_j) = \min\{d'(v_j)\}_{v_j \in N(v_i)}$
Tandai v_j sehingga $T \coloneqq T \cup \{v_j\}$ $V \coloneqq V - \{v_j\}$ $N(v_i) \coloneqq N(v_i) - \{v_j\}$
$v_i \coloneqq v_j$
Lakukan pencarian ulang pilih simpul v_i dengan $d'(v_i)$ yang sama atau derajat terkecil berikutnya
A
B



Gambar 1.1 Flowchart implementasi algoritma Warnsdorff pada graf