Epsilon: Jurnal Matematika Murni dan Terapan
http://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/epsilon
p-ISSN: 1978-4422 | e-ISSN 2656-7660
Vol.19 No.1 (Juni 2025) Hal. 72-85

PENERAPAN TEORI GRAF DALAM PERMASALAHAN KONEKTIVITAS HABITAT SATWA LIAR DI KAWASAN KONSERVASI KALIMANTAN BARAT

Widya Pebrianti[1*], Nilamsari Kusumastuti[2], Evi Noviani[3]

[1,2,3]Program Studi Matematika Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, 78124, Kalimantan Barat
*email: *h1011201045@student.untan.ac.id*

ABSTRACT

Development activities, such as land conversion and infrastructure development, cause the area of natural habitats for wildlife to decrease, so that the remaining habitats become smaller and separated from each other. This process is known as fragmentation, so connectivity between habitats and conservation areas is important to consider. This study aims to represent conservation networks in graph form to examine the application of graph theory in wildlife habitat connectivity and find a network of conservation areas that includes all protected species in West Kalimantan referred to as wildlife corridors. The heuristic method is used to find a connected subgraph that includes all typical West Kalimantan protected wildlife, where this connected subgraph represents the wildlife corridor. The first step is to explore the subgraph by adding vertices to the subgraph, starting from an initial vertex to all neighboring vertices within a certain distance until the combined set of species contained in the vertices of the subgraph found covers all protected species in West Kalimantan. The next step is form an induced subgraph from the subgraph obtained from the exploration, then perform pruning to remove non-contributing vertices. The results of this study show that through graph representation and heuristic method, by making each vertex as the initial vertex of exploration, 11 connected subgraphs are obtained that cover all protected species in West Kalimantan.

Keywords: habitat fragmentation, connectivity, connected subgraph

ABSTRAK

Aktivitas pembangunan, seperti konversi lahan dan pembangunan infrastruktur, menyebabkan luas habitat alami satwa liar semakin berkurang, sehingga habitat yang tersisa menjadi semakin kecil dan terpisah-pisah satu sama lain. Proses tersebut dikenal sebagai fragmentasi, sehingga konektivitas antar habitat maupun kawasan konservasi penting untuk diperhatikan. Penelitian ini bertujuan untuk merepresentasikan jaringan konservasi ke bentuk graf dalam mengkaji penerapan teori graf dalam konektivitas habitat satwa liar dan menemukan jaringan kawasan konservasi yang mencakup semua spesies dilindungi di Kalimantan Barat yang disebut koridor hidupan liar. Metode heuristik digunakan untuk menemukan subgraf terhubung yang mencakup semua satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi, dimana subgraf terhubung ini merepresentasikan koridor hidupan liar. Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan eksplorasi subgraf yaitu dengan menambahkan simpul ke subgraf, mulai dari suatu simpul awal ke semua simpul tetangga dengan radius tertentu sampai gabungan himpunan spesies yang terdapat pada simpul-simpul subgraf yang ditemukan mencakup semua spesies di Kalimantan Barat yang dilindungi. Dilanjutkan membentuk subgraf terinduksi dari subgraf yang diperoleh dari ekplorasi, lalu melakukan *pruning* untuk menghapus simpul yang tidak berkontribusi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa melalui representasi graf dan metode heuristik, dengan menjadikan setiap simpul sebagai simpul awal eksplorasi, diperoleh 11 subgraf terhubung yang mencakup semua spesies dilindungi di Kalimantan Barat.

Kata kunci: fragmentasi habitat, konektivitas, subgraf terhubung

Received: 30 December 2024, Accepted: 24 June 2025, Published: 26 June 2025

PENDAHULUAN

Kalimantan Barat sebagai salah satu provinsi dengan berbagai keanekaragaman hayati di Indonesia menjadi rumah bagi banyak spesies flora dan fauna yang luar biasa karena hutan hujan tropisnya yang lebat. Namun, sebagai pusat keanekaragaman hayati, hutan sudah banyak kehilangan kualitas dan kuantitasnya (Atmoko dkk., 2021). Dalam memenuhi kebutuhan perkebunan, permukiman, pembangunan tambak, pertambangan, serta pembangunan berbagai infrastruktur, konversi hutan dan fragmentasi habitat sangat umum terjadi. Fragmentasi adalah proses dimana suatu ekosistem atau habitat alami terpisah menjadi bagian yang lebih kecil yang memiliki karakteristik ekologis dan biologis yang berbeda (Wang et al., 2022). Fragmentasi mengakibatkan banyak ekosistem dan spesies yang mengalami ancaman (Atmoko dkk., 2021). Sebagai contoh beberapa spesies satwa khas Kalimantan Barat yaitu *Pongo pygmaeus* (Orangutan Borneo), *Manis javanica* (Trenggiling), dan *Rhinoplax vigil* (Rangkong Gading) saat ini berada dalam status terancam punah menurut Redlist International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN).

Jika kawasan konservasi atau area perlindungan terpisah terlalu jauh, proses penting meliputi aliran gen, perubahan dalam populasi hewan, dan siklus pertumbuhan tanaman dapat terhambat (Cerdeira et al., 2005). Pendekatan untuk mengatasi masalah ini salah satunya adalah konektivitas habitat, yang dapat mendukung pergerakan satwa. Konektivitas ini sering diwujudkan dalam bentuk koridor hidupan liar, yang memungkinkan spesies berpindah dari satu fragmen habitat ke fragmen lainnya (Atmoko dkk., 2021). Menurut Atmoko dkk. (2021) jalur atau areal yang menghubungkan dua atau lebih habitat atau kawasan konservasi atau ruang terbuka dan sumber daya lainnya, dengan vegetasi yang cukup lebar baik alami maupun buatan, jalur inilah yang disebut koridor hidupan liar. Koridor mencegah dampak negatif dari habitat yang terfragmentasi dengan memfasilitasi pergerakan individu atau pertukaran antara faktor biotik atau populasi satwa (Atmoko dkk., 2021).

Dalam penerapan matematika, permasalahan konektivitas ini dapat diselesaikan dengan menggunakan teori graf dengan mendefinisikan masalah konektivitas atau koridor ini sebagai permasalahan subgraf terhubung. Dalam penerapan ini, simpul dapat mewakili kawasan konservasi, dan setiap kawasan memiliki himpunan spesies satwa liar yang dilindungi sementara sisi mewakili hubungan atau konektivitas antara kawasan konservasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menemukan subgraf terhubung yang mencakup seluruh spesies satwa liar yang dilindungi di Kalimantan Barat yang menjadi target. Dalam

konservasi, subgraf terhubung tersebut merepresentasikan koridor yang menggambarkan konektivitas habitat-habitat tersebut (Conrad et al., 2012).

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian terkait pentingnya konektivitas dalam area prioritas untuk konservasi dibahas oleh Cerdeira *et al*. (2005). Metode yang digunakan termasuk algoritma heuristik yaitu; *covering, connecting, pruning*, untuk menemukan jaringan terhubung terkecil dimana semua spesies diwakili setidaknya sekali. Penelitian lain menggunakan teori graf untuk memecahkan masalah konektivitas, yang terdiri dari tiga langkah; *covering* dengan menggunakan pemrograman integer linear*, connecting* menggunakan algoritma *Dijkstra,* dan *pruning* dengan melakukan pemangkasan heuristik (Hanum dkk., 2014). Penelitian lain juga membahas masalah desain koridor yang didefinisikan sebagai masalah subgraf yang terhubung, dengan tujuan untuk memaksimalkan ruang yang tersedia sesuai dengan batasan anggaran untuk membeli lahan (Conrad et al., 2012).

Penelitian ini memodelkan jaringan kawasan konservasi menggunakan teori graf. Teori graf merupakan kajian ilmu matematika yang menunjukkan objek-objek diskrit dan hubungannya. Objek direpresentasikan sebagai simpul, dan hubungan antar objeknya direpresentasikan sebagai sisi (Erliana dkk., 2023). Secara matematis, graf G terdiri dari himpunan simpul $V(G)$ dan $E(G)$. Dalam konteks ini, kawasan konservasi direpresentasikan sebagai simpul, sementara hubungan antar kawasan direpresentasikan sebagai sisi.

Permasalahan konektivitas atau koridor dalam penelitian ini didefinisikan sebagai permasalahan subgraf terhubung (Conrad et al., 2012). Subgraf adalah bagian dari graf yang terdiri dari beberapa simpul dan sisi yang merupakan bagian dari graf aslinya, secara matematis subgraf dari $G = \big(V(G), E(G)\big)$ adalah $G' = \big(V(G'), E(G')\big)$, dimana $V(G') \in V(G)$ dan $E(G') \in E(G)$ (Gross dkk., 2018). Selanjutnya, subgraf yang memiliki jalur yang menghubungkan setiap pasangan simpulnya, subgraf tersebut disebut subgraf terhubung (Gross et al., 2018). Untuk menyelesaikannya permasalahan subgraf terhubung ini, digunakan metode heuristik. Heuristik mengacu pada strategi yang menggunakan informasi sederhana yang dapat diterapkan secara luas untuk memandu pemecahan masalah secara efisien, terutama ketika menemukan solusi optimal terlalu rumit (Martí et al., 2018)

Penelitian ini bertujuan menemukan subgraf terhubung yang mencakup semua spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi. Proses dimulai dengan eksplorasi graf pada jarak tertentu hingga semua elemen spesies satwa liar khas Kalimantan Barat tercakup. Untuk memastikan spesies tercakup ini sesuai dengan konsep *Set Cover. Set Cover* adalah himpunan *subset* dari sebuah himpunan semesta yaitu himpunan simpul atau sisi, sedemikian sehingga setiap elemen dalam himpunan semesta terdapat dalam salah satu elemen *subset* tersebut (Hanum dkk., 2014).

Kemudian, untuk memastikan setiap simpul yang terpilih terhubung, digunakan konsep subgraf terinduksi, berbeda dari penelitian oleh (Hanum dkk., 2014) yang menggunakan algoritma *Dijkstra*. Subgraf terinduksi $G[V(G')]$ adalah graf yang terdiri dari himpunan simpul $V(G')$ dan himpunan sisi $E(G') \subseteq E(G)$, dimana $E(G')$ adalah himpunan semua sisi $E(G)$ yang menghubungkan dua simpul dalam $V(G')$ (Diestel, 2017). Tahap akhir melibatkan *pruning* sebagaimana yang dilakukan oleh Cerdeira et al. (2005) dan Hanum dkk., (2014), *pruning* atau pemangkasan merupakan proses menghapus elemen-elemen tertentu, seperti sisi atau simpul, dari sebuah graf tanpa mengganggu keseluruhan struktur atau konektivitasnya (Zhang et al., 2022). Teknik ini memungkinkan untuk menyederhanakan struktur graf yang mungkin kompleks. Dalam teori graf, penghapusan simpul adalah operasi dasar yang menghasilkan graf baru dengan menghapus satu simpul beserta semua sisi yang terhubung dengan simpul tersebut (Diestel, 2025) Secara matematis, suatu graf $G = \big(V(G), E(G)\big)$, untuk penghapusan simpul $v_i \in V(G)$ maka graf $G - v_i$ yang dihasilkan memiliki himpunan simpul $V(G) - \{v_i\}$ dan $E(G) - \{e_{i,j} | e_{i,j} \text{ bersisian dengan } v_i\}$ (Diestel, 2025).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data peta kawasan konservasi diperoleh dari Badan Pengelolaan Kehutanan dan Tata Kelola Lingkungan (BPKHTL) Kalimantan Barat, peta vegetasi yang diperoleh dari *website* Esri *Argis Online*, spesies satwa khas Kalimantan Barat yang dilindungi, dan keberadaan satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi pada kawasan konservasi diperoleh dengan melakukan studi literatur dari beberapa buku dan situs resmi. Dalam penelitian ini digunakan metode heuristik untuk menemukan subgraf terhubung yang mencakup semua elemen spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi, yang merepresentasikan koridor.

1. Merepresentasikan peta kawasan konservasi ke dalam graf $G = \big(V(G), E(G)\big)$ dan membentuk himpunan U yaitu himpunan spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi.
2. Membentuk himpunan spesies satwa liar Si yang ada di setiap kawasan konservasi $v_i \in V(G)$.
3. Menerapkan Teori Graf pada permasalahan subgraf terhubung dengan metode heuristik.

Didefinisikan subgraf $G'_{v_s} = \big(V(G'_{v_s}), E(G'_{v_s})\big)$ merupakan subgraf yang dibentuk selama pencarian subgraf dengan simpul awal v_s, U adalah himpunan spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi, dan himpunan S_i merupakan himpunan spesies satwa liar yang terdapat pada v_i, dimana himpunan

S_i merupakan himpunan bagian dari himpunan U. Langkah-langkah berikut digunakan untuk mencari subgraf terhubung dari suatu graf.

Langkah 1. Menentukan simpul $v_i \in V(G)$ sebagai simpul awal v_s.

Langkah 2. Inisialisasi $G'_{v_s} = \left(V\left(G'_{v_s}\right), E\left(G'_{v_s}\right)\right)$, sebagai subgraf dengan simpul awal $v_s \in V(G)$ dan $\bigcup_{v_i \in V\left(G'_{v_s}\right)} S_i$ yaitu cakupan yang merupakan gabungan dari himpunan S_i yang terdapat pada simpul $v_i \in V\left(G'_{v_s}\right)$.

Langkah 3. Perbarui subgraf, dengan menambahkan simpul awal v_s ke dalam subgraf G'_{v_s}.

Langkah 4. Lakukan eksplorasi subgraf.

i. Cari himpunan tetangga dengan jarak k dari simpul awal v_s. Jika himpunan tetangga dengan jarak k dari simpul awal v_s merupakan himpunan kosong, maka tidak ditemukan solusi untuk simpul awal v_s, ulangi Langkah 1.

ii. Perbarui subgraf dengan menambahkan himpunan simpul dengan jarak k dari simpul awal v_s ke dalam subgraf G'_{v_s}

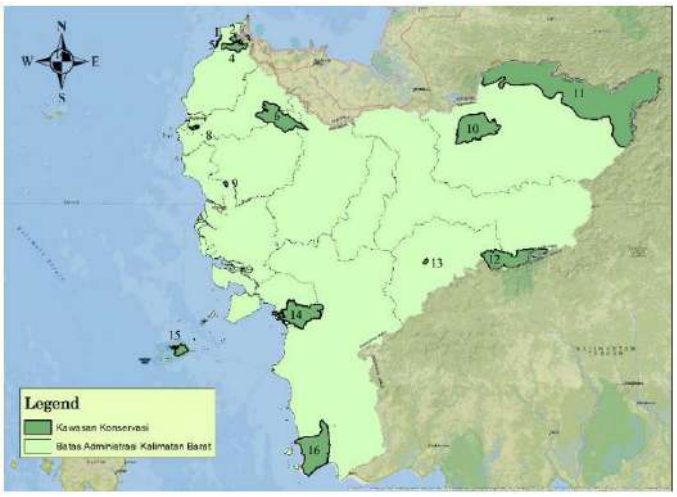
iii. Periksa cakupan yang dicakup dari subgraf tersebut. Jika gabungan himpunan spesies pada subgraf yang telah diperbarui tersebut sudah mencakup atau sama dengan himpunan U lanjutkan ke langkah Langkah 5, jika belum mencakup maka ulangi langkah Langkah 4.i dengan memperbarui jarak $k = k + 1$.

Langkah 5. Kemudian, bentuk subgraf terinduksi dari subgraf yang diperoleh dari hasil eksplorasi, yaitu dengan menyertakan semua sisi yang menghubungkan pasangan simpul yang ada di subgraf G'_{v_s}.

Langkah 6. Lakukan *pruning* atau pemangkasan dengan menghapus simpul, dimulai dari simpul yang terakhir diproses atau ditambahkan ke subgraf. Lakukan *pruning* sehingga tidak ada lagi simpul yang bisa dihapus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan yaitu jaringan kawasan konservasi Kalimantan Barat yang terdiri dari 16 kawasan konservasi yang tersebar dibeberapa kabupaten/kota di Kalimantan Barat yang diberikan pada Gambar 1 dan Tabel 1, spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi, dan keberadaan spesies tersebut di kawasan konservasi melalui studi literature dari penelitian, buku, maupun situr resmi daerah.



Gambar 1. Peta Konservasi
Sumber: BPKHTL Kalimantan Barat (2024) dan Esri

Tabel 1. Kawasan Konservasi Kalimantan Barat

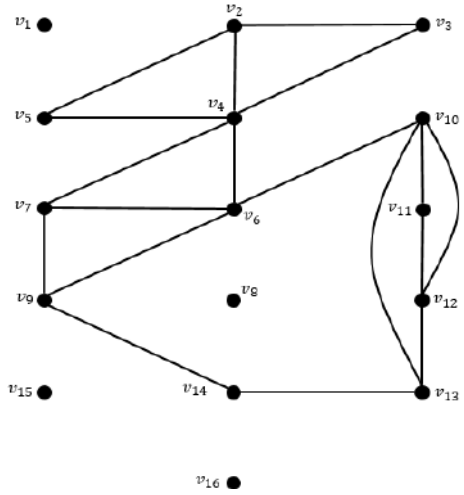
No	Kawasan	Simpul
1	Kawasan 1	v_1
2	Kawasan 2	v_2
3	Kawasan 3	v_3
4	Kawasan 4	v_4
5	Kawasan 5	v_5
6	Kawasan 6	v_6
7	Kawasan 7	v_7
8	Kawasan 8	v_8
9	Kawasan 9	v_9
10	Kawasan 10	v_{10}
11	Kawasan 11	v_{11}
12	Kawasan 12	v_{12}
13	Kawasan 13	v_{13}
14	Kawasan 14	v_{14}
15	Kawasan 15	v_{15}
16	Kawasan 16	v_{16}

Tabel 2. Satwa khas Kalimantan Barat yang dilindungi

No	Satwa Liar	Variabel
1	Spesies *a*	b_1
2	Spesies *b*	b_2
3	Spesies *c*	b_3
4	Spesies *d*	b_4
5	Spesies *e*	b_5
6	Spesies *f*	b_6
7	Spesies *g*	b_7
8	Spesies *h*	b_8
9	Spesies *i*	b_9
10	Spesies *j*	b_{10}
11	Spesies *k*	b_{11}
12	Spesies *l*	b_{12}

Sumber: Maulana (2014)

Jaringan kawasan konservasi direpresentasikan ke dalam graf dimana kawasan konservasi direpresentasikan sebagai simpul didefinisikan dengan v_i dimana $i = 1, 2, 3, \dots, 16$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, dan keterhubungan antara kawasan konservasi direpresentasikan sebagai sisi dalam graf, yang didefinisikan sebagai $e_{i,j} = (v_i, v_j)$ yang menghubungkan simpul v_i dan v_j. Dua kawasan dikatakan terhubung ketika terdapat hutan atau vegetasi yang memungkinkan pergerakan satwa liar diantara kedua kawasan sebagai penghubung. Representasi peta kawasan konservasi dalam graf diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Representasi graf

Selanjutnya, dibentuk himpunan U yang anggotanya adalah satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi, dinotasikan dengan b_k dimana $k = 1, 2, 3, \ldots, 12$. Data satwa liar tersebut disajikan pada Tabel 2, maka himpunan $U = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$. Untuk setiap kawasan konservasi v_i terdapat himpunan satwa dilindungi S_i yang merupakan himpunan bagian dari U, yaitu $S_i \subseteq U$. Dari definisi tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Himpunan satwa pada kawasan v_i

Kawasan v_i	Himpunan satwa S_i yang ada pada kawasan v_i
v_1	$S_1 = \{b_3\}$
v_2	$S_2 = \{b_2, b_4, b_6\}$
v_3	$S_3 = \{b_{10}\}$
v_4	$S_4 = \{b_4, b_6, b_{12}\}$
v_5	$S_5 = \{b_3\}$
v_6	$S_6 = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_{10}, b_{12}\}$
v_7	$S_7 = \{b_4, b_6, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$
v_8	$S_8 = \{b_5, b_6\}$
v_9	$S_9 = \{b_2, b_4, b_5, b_9, b_{10}, b_{12}\}$
v_{10}	$S_{10} = \{b_1, b_2, b_3, b_{12}\}$
v_{11}	$S_{11} = \{b_1, b_2, b_4, b_5, b_7, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$
v_{12}	$S_{12} = \{b_1, b_2, b_5, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$
v_{13}	$S_{13} = \{b_6, b_{11}, b_{12}\}$
v_{14}	$S_{14} = \{b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$
v_{15}	$S_{15} = \{b_1\}$
v_{16}	$S_{16} = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_{10}\}$

Sumber: Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah III Pontianak (2011) dan Direktorat Pemolaan dan Informasi Konservasi Alam (2016)

Didefinisikan $G = \big(V(G), E(G)\big)$ merupakan graf jaringan kawasan konservasi, subgraf $G'_{v_s} = \Big(V\big(G'_{v_s}\big), E\big(G'_{v_s}\big)\Big)$ merupakan subgraf yang dibentuk selama pencarian subgraf dengan simpul awal v_s dan U adalah himpunan spesies

satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi dimana $U = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$. Tujuannya yaitu menemukan subgraf terhubung sedemikian sehingga gabungan himpunan spesies satwa liar yang terdapat pada simpul dalam subgraf tersebut mencakup seluruh elemen dalam himpunan U, yaitu $\bigcup_{v_i \in V(G')} S_i = U$.

Langkah 1. Pilih simpul $v_2 \in V(G)$ sebagai simpul awal v_s.

Langkah 2. Inisialisasi $G'_{v_2} = \left(V\left(G'_{v_2}\right), E\left(G'_{v_2}\right)\right)$, sebagai subgraf dengan simpul awal $v_2 \in V(G)$ dan $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i$ yaitu cakupan yang merupakan gabungan dari himpunan S_i yang terdapat pada simpul $v_i \in V\left(G'_{v_2}\right)$.

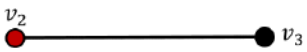
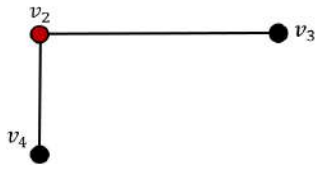
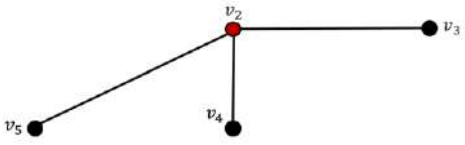
Langkah 3. Perbarui subgraf, dengan menambahkan simpul awal v_2 ke dalam subgraf G'_{v_2} sehingga $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = S_2 = \{b_2, b_4, b_6\}$.

Langkah 4. Karena koridor menghubungkan minimal dua kawasan, proses akan dilanjutkan dengan melakukan eksplorasi subgraf.

i. Himpunan tetangga dengan jarak $k = 1$ dari simpul awal v_2 yaitu $N_1(v_2) = \{v_3, v_4, v_5\}$.

ii. Perbarui subgraf dengan menambahkan himpunan simpul dengan jarak $k = 1$ dari simpul awal v_2 ke dalam subgraf G'_{v_2}.

Tabel 4. Iterasi ke-1

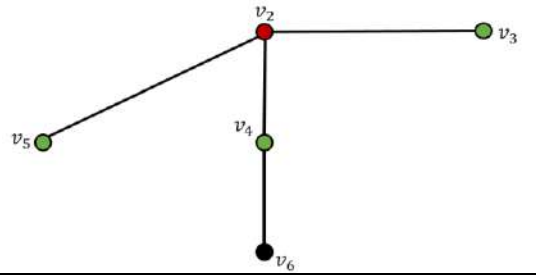
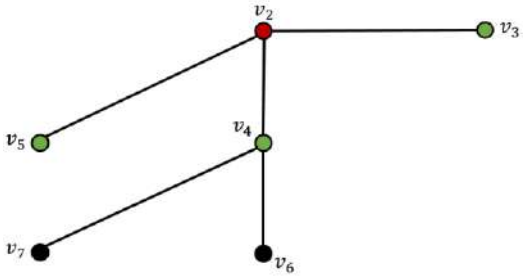
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui
1	$\{v_3, v_4, v_5\}$	v_3	$\{\}$	
		v_4	$\{v_6, v_7\}$	
		v_5	$\{\}$	

Pada Tabel 4 setelah simpul awal yang diberi warna merah ditetapkan, ekplorasi subgraf mulai menelusuri tetangga-tetangga simpul dengan jarak $k = 1$ untuk memperluas subgraf. Hasil eksplorasi awal ini belum mencakup spesies yang diinginkan karena $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_5 = \{b_2, b_4, b_6\} \cup \{b_{10}\} \cup \{b_{10}\} \cup \{b_4, b_6, b_{10}, b_{12}\} \cup \{b_3\} = \{b_2, b_3, b_4, b_6, b_{10}, b_{12}\} \neq U$ maka proses dilanjutkan dengan menelusuri simpul tetangga dengan jarak $k + 1$.

iii. Karena cakupan belum memenuhi maka akan dilakukan iterasi kedua. Proses iterasi akan dilanjutkan memperbarui jarak $k = 1$ menjadi $k = k + 1 = 2$

sampai ditemukan G'_{v_2}, dimana $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = U$. Pada Tabel 5 simpul yang telah dikunjungi pada jarak sebelumnya diberi warna hijau.

Tabel 5. Iterasi ke-2

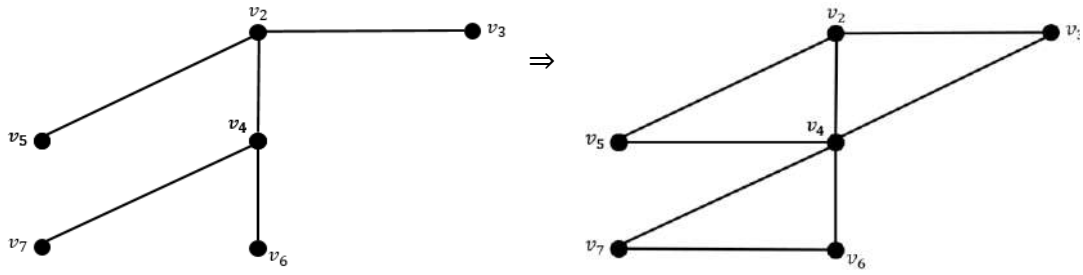
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui
2	$\{v_6, v_7\}$	v_6	$\{v_9, v_{10}\}$	
		v_7	$\{v_9\}$	

Dari Tabel 5, diperoleh bahwa hasil eksplorasi subgraf pada jarak $k = 2$ bahwa cakupan sudah tepenuhi $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = S_2 \cup S_3 \cup S_4 \cup S_5 \cup S_6 \cup S_7 = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7 \ \ b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\} = U$, maka proses dilanjutkan ke Langkah 5.

Langkah 5. Kemudian, bentuk subgraf terinduksi dari subgraf yang diperoleh dari langkah 4. Subgraf terinduksi dibentuk dengan memilih himpunan simpul $V(G'_{v_2})$ pada subgraf G'_{v_2} sebagai himpunan simpul subgraf terinduksi. Selanjutnya, ambil semua sisi dari $E(G)$ yang menghubungkan pasangan simpul dalam subgraf G'_{v_2} yaitu $E(G[V(G'_{v_2})]) = \{e_{i,j} \in E(G)$: terdapat sisi yang menghubungkan $V(G'_{v_2})\}$, diperoleh

$$[V(G'_{v_2})] = V(G'_{v_2}) = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}$$
$$E(G[V(G'_{v_2})]) = \{e_{2,3}, e_{2,4}, e_{2,5}, e_{2,4}, e_{3,4}, e_{4,5}, e_{4,6}, e_{4,7}, e_{6,7}\}$$

Sehingga subgraf terinduksi $G[V(G')]$ diberikan pada Gambar 3.

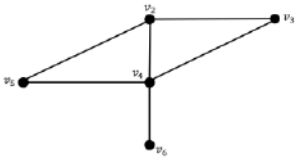
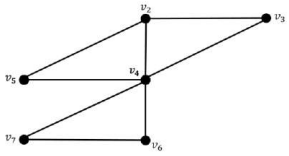
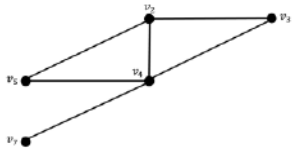
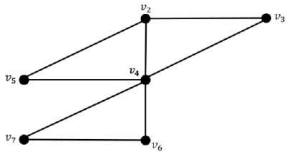
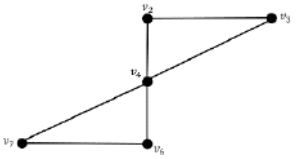
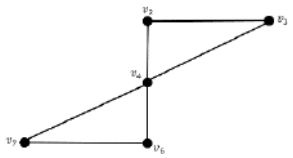
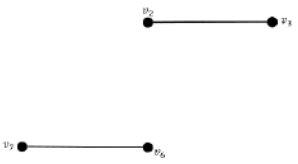
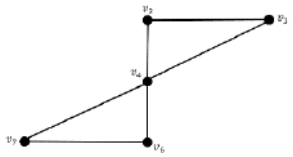


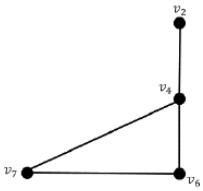
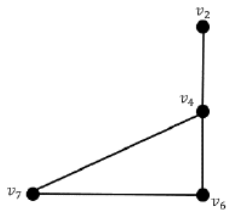
(a) (b)

Gambar 3. (a) Subgraf G'_{v_2}, dan (b) Subgraf terinduksi $G[V(G'_{v_2})]$

Langkah 6. Lakukan *pruning* dimulai dari simpul yang terakhir diproses atau ditambahkan ke subgraf. Lakukan *pruning* sehingga tidak ada lagi simpul yang bisa dihapus.

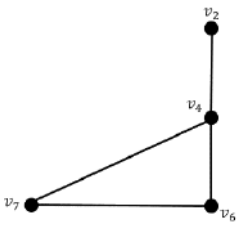
Tabel 3. *Pruning* (Pemangkasan)

No	Urutan simpul diproses	Simpul dihapus sementara	Subgraf sementara	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})])} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf
1	$v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7$	v_7	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})]-\{v_7\})} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
2	v_2, v_3, v_4, v_5, v_6	v_6	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})]-\{v_6\})} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
3	v_2, v_3, v_4, v_5	v_5	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_5\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})]-\{v_5\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_2})] = G[V(G'_{v_2})] - \{v_5\}$ 
4	v_2, v_3, v_4	v_4	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_4\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})]-\{v_3\})} S_i = U$ tetapi memutus konektivitas	Tidak dihapus	

No	Urutan simpul diproses	Simpul dihapus sementara	Subgraf sementara	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})])} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf
5	v_2, v_3	v_3	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_3\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})]-\{v_3\})} S_i = U$	Hapus permanen	

Dari proses *pruning* yang dilakukan pada Tabel 4, terdapat beberapa simpul yang dihapus karena tidak memberikan kontribusi terhadap cakupan maupun konektivitas atau keterhubungan antara simpul. Sehingga diperoleh subgraf terhubung yang mencakup himpunan U diberikan pada Gambar 4.

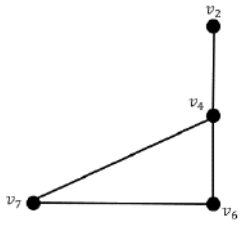
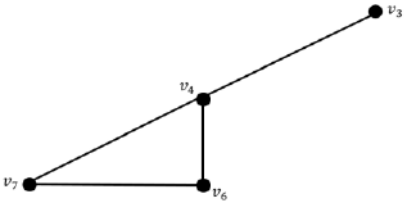
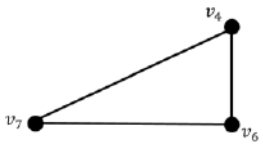
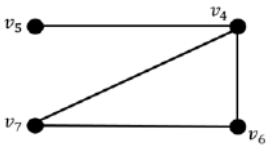
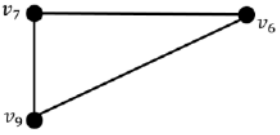
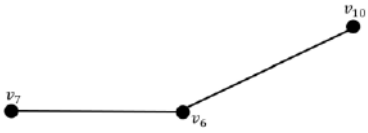
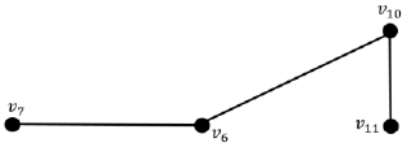
$$G[V(G'_{v_2})] = (\{v_2, v_4, v_6, v_7\}, \{e_{2,4}, e_{4,6}, e_{4,7}, e_{6,7}\})$$

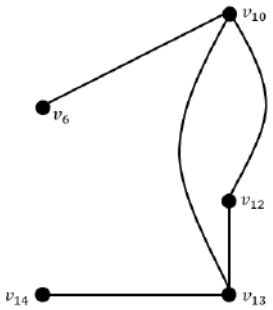
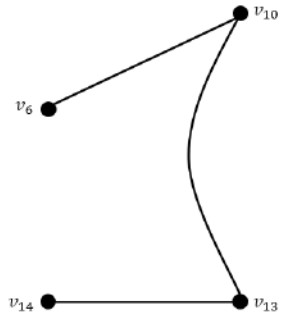
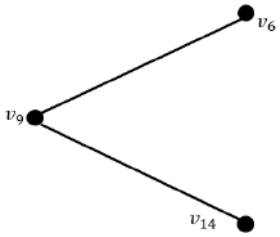


Gambar 4. Hasil pruning subgraf terinduksi $G[V(G'_{v_2})]$

Diperoleh subgraf terhubung yang merupakan kawasan-kawasan terhubung yang mencakup semua spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi. Dalam hal ini jika kawasan 2 sebagai kawasan potensial, maka kawasan terhubung yang memenuhi yaitu keterhubungan dan cakupan yaitu, kawasan 4, kawasan 6, dan kawasan 7. Untuk penerapan dengan simpul awal lainnya, proses dilakukan dengan menerapkan langkah-langkah yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, diberikan hasil pada Tabel 6.

Tabel 6. Subgraf terhubung mencakup spesies satwa liar pada himpunan U

No	Simpul awal	Kawasan potensial	Subgraf terhubung mencakup elemen himpunan U	Kawasan terhubung mencakup spesies
1	v_1	Kawasan 1	Tidak ada	Tidak ada
2	v_2	Kawasan 2		Kawasan 2 – kawasan 4 – kawasan 6 – kawasan 7
3	v_3	Kawasan 3		Kawasan 3 – kawasan 4 – kawasan 6 – kawasan 7
4	v_4	Kawasan 4		Kawasan 4 – kawasan 6 – kawasan 7
5	v_5	Kawasan 5		Kawasan 5 – kawasan 4 – kawasan 6 – kawasan 7
6	v_6	Kawasan 6		Kawasan 6 – kawasan 7
7	v_7	Kawasan 7		Kawasan 7 – kawasan 6
8	v_8	Kawasan 8	Tidak ada	Tidak ada
9	v_9	Kawasan 9		Kawasan 9 – kawasan 6 – kawasan 7
10	v_{10}	Kawasan 10		Kawasan 10 – kawasan 6 – kawasan 7
11	v_{11}	Kawasan 11		Kawasan 11 – kawasan 10 – kawasan 6 – kawasan 7

No	Simpul awal	Kawasan potensial	Subgraf terhubung mencakup elemen himpunan U	Kawasan terhubung mencakup spesies
12	v_{12}	Kawasan 12		Kawasan 12 – kawasan 10 – kawasan 6 – kawasan 7
13	v_{13}	Kawasan 13		Kawasan 13 – kawasan 14 – kawasan 10 – kawasan 6
14	v_{14}	Kawasan 14		Kawasan 14 – kawasan 9 – kawasan 6
15	v_{15}	Kawasan 15	Tidak ada	Tidak ada
16	v_{16}	Kawasan 16	Tidak ada	Tidak ada

KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengkaji mengenai bagaimana teori graf dapat diterapkan dalam menemukan subgraf terhubung yang mencakup spesies satwa liar khas Kalimantan Barat. Menggunakan pendekatan heuristik, eksplorasi subgraf dilakukan untuk memastikan semua spesies terlindungi tercakup secara menyeluruh, dimulai dengan menentukan simpul awal dan menambahkan simpul dengan jarak tertentu ke subgraf sampai himpunan spesies satwa tercakup, dilanjutkan dengan pembentukan subgraf terinduksi, dan pemangkasan untuk menghapus simpul yang tidak berkontribusi. Hasilnya menunjukkan bahwa, diperoleh 11 subgraf terhubung yang merepresentasikan koridor hidupan liar yang

terhubung secara vegetatif dan mencakup semua spesies dilindungi di Kalimantan Barat.

REFERENSI

Atmoko, T., Sudiono, E., Rifqi, M. A., & Dharma, A. P. (2021). *Praktik Terbaik Pengelolaan Habitat Satwa Terancam Punah dalam Skala Bentang Alam*. IPB Press.

Badan Pemantapan Kawasan Hutan dan Tata Lingkungan (BPKHTL) Kalimantan Barat. (2024). *Peta Kawasan Konservasi di Kalimantan Barat*.

Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah III Pontianak. (2011). *Potret Hutan Provinsi Kalimantan Barat*. Kementerian Kehutanan.

Cerdeira, J. O., Gaston, K. J., & Pinto, L. S. (2005). Connectivity in priority area selection for conservation. *Environmental Modeling and Assessment*, *10*(3), 183–192. https://doi.org/10.1007/s10666-005-9008-4

Conrad, J. M., Gomes, C. P., van Hoeve, W. J., Sabharwal, A., & Suter, J. F. (2012). Wildlife corridors as a connected subgraph problem. *Journal of Environmental Economics and Management*, *63*(1), 1–18. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2011.08.001

Diestel, R. (2017). *Graph Theory* (5th ed). Springer.

Diestel, R. (2025). *Graph Theory* (6th ed). Springer.

Direktorat Pemolaan Dan Informasi Konservasi Alam. (2016). *Informasi 521 Kawasan Konservasi*. 221.

Erliana, Kusumastuti, N., & Fran, F. (2023). *Penentuan Pohon Perentang Minimum ke-k dengan Menggunakan Algoritma k-MST*. *2*(1), 1–9.

Esri. (t.t.). *ArcGis Online*. https://www.arcgis.com/

Gross, J. L., Yellen, J., & Anderson, M. (2018). *Graph Theory and Its Applications* (3rd ed). CRC Press.

Hanum, F., Wahyuni, N., & Bakhtiar, T. (2014). Connectivity problem of wildlife conservation in Sumatra: A graph theory application. *International Journal of Ecological Economics and Statistics*, *35*(4), 22–29.

Martí, R., Pardalos, P. M., & Resende, M. G. C. (2018). *Handbook of Heuristics*. Springer.

Maulana, Y. (2014). Taman Satwa Kalimantan Barat. *Jurnal online mahasiswa Arsitektur Universitas Tanjungpura*, *2*(1), 103–118.

Wang, Y., Qin, P., & Önal, H. (2022). An optimisation approach for designing wildlife corridors with ecological and spatial considerations. *Methods in Ecology and Evolution*, *13*(5), 1042–1051. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13817

Zhang, M., Yu, X., Rong, J., & Ou, L. (2022). *Graph pruning for model compression. Applied Intelligence*. *52(10)*, 11244–11256.