

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

**WIDYA PEBRIANTI
H1011201045**

SKRIPSI



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

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

WIDYA PEBRIANTI

H1011201045

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 Teori Graf dalam Permasalahan Konektivitas
Habitat Satwa Liar di Kawasan Konservasi Kalimantan Barat
Nama Mahasiswa : Widya Pebrianti
NIM : H1011201045
Jurusan/Program Studi : Matematika/Matematika
Tanggal Lulus : 9 Desember 2024
SK Pembimbing : No. 2649/UN22.8/TD.06/2024/Tanggal 2 September 2024
SK Penguji : No. 4105/UN22.8/TD.06/2024/Tanggal 3 Desember 2024

Dosen Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Nilamsari Kusumastuti, M.Sc.
NIP 198105102005012003

Pembimbing II



Dr. Evi Noviani, M.Si., CFrA.
NIP 198402292006042001

Dosen Penguji

Ketua Penguji



Fransiskus Fran, M.Si.
NIP 198804152019031014

Anggota Penguji



Dr. Yundari, M.Sc.
NIP 198310202008012012

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)



Dr. Nilamsari Kusumastuti, M.Sc.
NIP 198105102005012003

Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)



Dr. Evi Noviani, M.Si., CFrA.
NIP 198402292006042001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura



Prof. Dr. Gusrizal, M.Si.
NIP 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Widya Pebrianti

NIM : H1011201045

Program Studi/Jurusan : Matematika/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 pernyataan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, Desember 2024



Widya Pebrianti
H1011201045

Penerapan Teori Graf dalam Permasalahan Konektivitas Habiatsatwa Liar di Kawasan Konservasi Kalimantan Barat

Abstrak

Seiring dengan aktivitas seperti penebangan atau penggundulan hutan, pembangunan infrastruktur, dan pertanian di Kalimantan Barat, luasan habitat alami satwa liar semakin mengecil sehingga habitat alami terpisah menjadi bagian-bagian kecil, proses tersebut dikenal sebagai fragmentasi. Oleh karena itu, diperlukan koridor hidupan liar yaitu jalur alami atau buatan yang memungkinkan pergerakan satwa liar yang diharapkan dapat mengurangi dampak negatif fragmentasi habitat. Penelitian bertujuan merepresentasikan jaringan kawasan konservasi ke dalam graf, mengkaji penerapan teori graf dalam konektivitas habitat satwa liar, dan menentukan kawasan-kawasan terhubung yang mencakup spesies satwa liar yang dilindungi Kalimantan Barat. Peta kawasan konservasi direpresentasikan sebagai graf $G = (V(G), E(G))$, di mana setiap kawasan konservasi direpresentasikan sebagai simpul $v_i \in V(G)$, dan vegetasi yang memungkinkan pergerakan satwa liar direpresentasikan sebagai sisi $e_{i,j} \in E(G)$. Terdapat himpunan U yang terdiri dari 12 spesies satwa khas Kalimantan Barat yang dilindungi, dimana setiap kawasan konservasi $v_i \in V(G)$ memiliki himpunan S_i , yaitu himpunan spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi di kawasan tersebut. Metode heuristik digunakan untuk menemukan subgraf yang mencakup semua spesies di himpunan U . Dimulai dari simpul awal, simpul-simpul tetangga dengan jarak k ditambahkan ke subgraf, diikuti pemeriksaan cakupan untuk memastikan semua spesies tercakup. Penambahan simpul menjadi subgraf berlanjut hingga cakupan tercapai. Kemudian, subgraf terinduksi dibentuk dan dilakukan pemangkasan untuk menghapus simpul yang tidak diperlukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 11 subgraf terhubung yang merepresentasikan kawasan-kawasan terhubung dengan keberadaan spesies satwa liar yang dilindungi di Kalimantan Barat.

Kata Kunci: fragmentasi habitat, koridor hidupan liar, *set covering problem*, subgraf terhubung

***Application of Graph Theory in Connectivity Problems
Wildlife Habitat in West Kalimantan Conservation Areas***

Abstract

Along with activities such as logging or deforestation, infrastructure development, and agriculture in West Kalimantan, the area of natural habitat for wildlife is getting smaller so that the natural habitat is separated into small parts, the process is known as fragmentation. Therefore, wildlife corridors, which are natural or artificial pathways that allow wildlife movement, are needed to reduce the negative impacts of habitat fragmentation. The research aims to represent the conservation area network into a graph, examine the application of graph theory in wildlife habitat connectivity, and determine connected areas that include protected wildlife species in West Kalimantan. The conservation area map is represented as a graph $G = (V(G), E(G))$, where each conservation area is represented as vertex $v_i \in V(G)$, and vegetation that allows wildlife movement is represented as edge $e_{i,j} \in E(G)$. There is a set U consisting of 12 typical West Kalimantan protected wildlife species, where each conservation area $v_i \in V(G)$ has a set S_i , which is the set of typical West Kalimantan protected wildlife species in the area. A heuristic method is used to find a subgraph that covers all species in the set U . Starting from the initial vertex, neighboring vertices with distance k are added to the subgraph, followed by a coverage check to ensure all species are covered. The addition of vertices into the subgraph continues until coverage is achieved. Then, the induced subgraph was formed and pruning was performed to remove unnecessary vertices. The results showed that there were 11 connected subgraphs representing areas connected to the presence of protected wildlife species in West Kalimantan.

Keywords: *habitat fragmentation, wildlife corridors, connected subgraph, set covering problem*

PRAKATA

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Penerapan Teori Graf dalam Permasalahan Konektivitas Habitat Satwa Liar di Kawasan Konservasi Kalimantan Barat”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Matematika pada Program Studi Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura. Dalam proses penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah membantu penulis dalam berbagai bentuk. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada:

1. Keluarga tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan yang tiada hingga kepada penulis dalam proses penyelesaian penulisan skripsi ini.
2. Ibu Dr. Nilamsari Kusumastuti, M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing pertama dan Ibu Dr. Evi Noviani, M.Si., CFA., sebagai Dosen Pembimbing kedua dalam penulisan skripsi ini, atas bimbingan dan masukan kepada penulis.
3. Bapak Fransiskus Fran, M.Si. sebagai Dosen Penguji pertama dan Ibu Dr. Yundari, M.Sc. sebagai Dosen Penguji kedua dalam penulisan skripsi ini, yang telah memberikan kritik dan saran.
4. Ibu Naomi Debatoreja, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama masa studi penulis dan seluruh dosen di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
5. Sahabat-sahabat penulis dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 9 Desember 2024

Widya Pebrianti
H1011201045

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK.....	iii
Abstrak.....	iv
Abstract.....	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tinjauan Pustaka	3
1.6 Metodologi Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Konsep Dasar Teori Graf.....	8
2.2 Terminologi Dasar Graf	10
2.3 Konektivitas.....	13
2.4 Subgraf	18
2.5 <i>Set Covering Problem</i> (Masalah Himpunan Penutup)	20
2.6 Metode Heuristik	22
2.7 Konservasi	23
2.8 Koridor Hidupan Liar	24
BAB III MASALAH SUBGRAF TERHUBUNG.....	26
3.1 Pengumpulan Data.....	26
3.2 Representasi Kawasan Konservasi ke dalam Graf	28

3.3	Masalah Subgraf Terhubung dalam Konektivitas Satwa Liar.....	30
3.4	Penerapan Teori Graf dalam Masalah Subgraf Terhubung	31
BAB IV PENUTUP		40
4.1	Kesimpulan.....	40
4.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA		41
LAMPIRAN.....		43

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kawasan konservasi	27
Tabel 3. 2 Spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi.....	27
Tabel 3. 3 Himpunan satwa pada kawasan <i>vi</i>	29
Tabel 3. 4 Iterasi ke-1	32
Tabel 3. 5 Iterasi ke-2.....	33
Tabel 3. 6 <i>Pruning</i> (Pemangkasan)	35
Tabel 3. 7 Hasil pencarian subraf terhubung mencakup elemen himpunan U	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Flowchart mencari subgraf terhubung dalam pembentukan koridor hidupan liar.....	7
Gambar 2. 1 (a) Graf G_1 (b) Graf G_2	8
Gambar 2. 2 Graf tak berarah G_3	9
Gambar 2. 3 Graf berarah G_4	9
Gambar 2. 4 Graf G_5	10
Gambar 2. 5 Graf G_6	12
Gambar 2. 6 (a) Graf G_7 (b) Graf G_8	13
Gambar 2. 7 Graf G_9	14
Gambar 2. 8 Graf hasil penghapusan simpul v_2 pada graf G_9	14
Gambar 2. 9 (a) Graf G_{10} (b) Graf G_{10} setelah v_3 dihapus	15
Gambar 2. 10 (a) Graf G_{11} (b) Graf G_{11} setelah v_2 dan v_5 dihapus	16
Gambar 2. 11 (a) Graf G_{12} (b) Graf G_{12} setelah $e_{3,4}$ dihapus	16
Gambar 2. 12 (a) Graf G_{13} (b) Graf G_{13} setelah penghapusan sisi	17
Gambar 2. 13 Subgraf dari G_6	18
Gambar 2. 14 (a) Graf G_{14} , (b) Subgraf merentang dari graf G_{14}	18
Gambar 2. 15 (a) Subgraf G'_{14} dari G_9 , (b) Subgraf terinduksi $G[V(G'_{14})]$	19
Gambar 2. 16 (a) Graf G_{15} Pohon, (b) Graf G_{16} Bukan Pohon	20
Gambar 2. 17 <i>Set Covering Problem</i>	21
Gambar 3. 1 Peta kawasan konservasi Kalimantan Barat	26
Gambar 3. 2 Graf Representasi Peta Kawasan Konservasi	28
Gambar 3. 3 (a) Subgraf G'_{v_2} (b) Subgraf terinduksi $G[V(G'_{v_2})]$	34
Gambar 3. 4 Subgraf terinduksi $G[V(G'_{v_2})]$	35
Gambar 3. 5 Hasil <i>pruning</i> subgraf terinduksi $G[V(G'_{v_2})]$	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta kawasan konservasi untuk menemukan keterhubungan antara kawasan konservasi.	43
Lampiran 2. Menemukan subgraf terhubung mencakup elemen himpunan U untuk simpul lainnya.	46

DAFTAR SIMBOL

$G = (V(G), E(G))$:	Graf G dengan $V(G)$ adalah himpunan simpul pada graf G dan $E(G)$ adalah himpunan sisi pada graf G
$G' = (V(G'), E(G'))$:	Subgraf dari graf G , dengan $V(G') \subseteq V(G)$ adalah himpunan simpul pada subgraf G' dan $E(G') \subseteq E(G)$ adalah himpunan sisi pada subgraf G'
U	:	Himpunan spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi
S_i	:	Himpunan spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi yang ada di kawasan v_i
$N_k(v_s)$:	Himpunan simpul tetangga v_s dengan jarak k
$G[V(G')]$:	Subgraf terinduksi dari graf G

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kalimantan Barat merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Hutan hujan tropisnya yang lebat menjadikannya sebagai rumah bagi berbagai spesies satwa liar dan tumbuhan yang luar biasa. Menurut Atmoko dkk, (2021) sebagai pusat keanekaragaman hayati, hutan telah banyak kehilangan kualitas dan kuantitasnya. Banyak ekosistem dan spesies yang menjadi ancaman, sebagai akibat dari pemenuhan kebutuhan akan permukiman, perkebunan, pertambangan dan pembangunan berbagai infrastruktur, yang menyebabkan pemisahan habitat menjadi bagian-bagian kecil sangat umum terjadi (Atmoko dkk., 2021). Proses pemisahan suatu ekosistem atau habitat alami menjadi bagian-bagian lebih kecil yang masing-masing memiliki ciri ekologis dan biologis yang berbeda disebut fragmentasi..

Fragmentasi habitat memiliki dampak yang dapat merusak terhadap kelangsungan keanekaragaman hayati, salah satunya satwa liar. Orangutan borneo (*Pongo pygmaeus*), trenggiling (*Manis javanica*), dan rangkong gading (*Rhinoplax vigil*) adalah spesies satwa khas Kalimantan Barat yang saat ini berada dalam status terancam punah menurut Redlist International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). Jika masalah fragmentasi habitat ini tidak segera ditangani satwa liar akan mengalami penurunan populasi atau bahkan kepunahan. Selain itu, fragmentasi habitat juga meningkatkan risiko konflik antara manusia dan satwa liar. Satwa yang kehilangan habitat alami akan mencari sumber daya di dekat pemukiman manusia, yang sering kali berujung pada konflik.

Untuk mengatasi masalah ini, salah satu upaya konservasi yang sangat penting dilakukan adalah memperhatikan konektivitas antara kawasan konservasi, antar berbagai ekosistem, dan menggabungkan bidang atau fragmen (*patch*) hutan yang tersisa di sekitarnya (Cerdeira dkk., 2005). Dalam matematika, konsep teori graf dapat diterapkan dalam permasalahan ini. Teori graf merupakan ilmu matematika yang mempelajari struktur jaringan yang terdiri dari simpul (*nodes*) dan

sisi (*edges*) yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. 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. Tujuannya yaitu 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 dkk., 2012).

Adanya koridor memungkinkan terjadinya pergerakan atau pertukaran individu antar populasi satwa atau pergerakan faktor-faktor biotik sehingga mencegah terjadinya dampak buruk pada habitat yang terfragmentasi (Atmoko dkk., 2021). Penelitian mengenai konektivitas habitat dan pembentukan koridor di bidang matematika dalam penelitian internasional, telah banyak dikaji dengan metode yang lebih kompleks dan teknologi yang lebih maju, seperti pada penelitian Conrad dkk. (2012) dan Wang dkk. (2023) yang memungkinkan hasil yang lebih mendetail dan akurat. Sementara itu mengenai masalah konektivitas habitat atau pembentukan koridor di Indonesia masih sangat terbatas dan umumnya dilakukan dengan pendekatan yang lebih sederhana, seperti yang dilakukan Hanum dkk. (2014) dengan judul *Connectivity Problem of Wildlife Conservation in Sumatra: A Graph Theory Application*. Pendekatan ini diharapkan dapat bermanfaat untuk memberikan pemahaman awal, walaupun masih memiliki keterbatasan dalam mengungkap kompleksitas ekosistem Indonesia yang kaya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam skripsi ini adalah bagaimana mencari subgraf terhubung yang mencakup spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi, subgraf terhubung tersebut koridor atau kawasan-kawasan yang terhubung.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah.

1. Merepresentasikan kawasan konservasi Kalimantan Barat ke bentuk graf.
2. Mengkaji langkah-langkah untuk menemukan subgraf terhubung yang mencakup spesies satwa liar khas Kalimantan Barat.
3. Menentukan kawasan-kawasan (koridor) terhubung yang mencakup spesies satwa khas Kalimantan Barat yang dilindungi.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, maka batasan masalah dibatasi pada penggunaan data 16 kawasan konservasi Kalimantan barat dan 12 satwa khas Kalimantan Barat yang dilindungi.

1.5 Tinjauan Pustaka

Terdapat beberapa penelitian tentang penerapan teori graf dalam pembuatan koridor satwa liar. Topik mengenai masalah konektivitas konservasi Satwa liar telah diteliti oleh Hanum dkk. (2014) menggunakan teori graf untuk memecahkan masalah konektivitas, yang terdiri dari tiga langkah; *covering*, *connecting*, dan *pruning*. Pada penelitian tersebut area konservasi direpresentasikan sebagai graf terlebih dahulu. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa konektivitas habitat yang terganggu dapat memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem. Penelitian ini menggunakan 20 kabupaten (situs) atau kota di Jambi, Riau, dan Sumatera Barat, dan 10 jenis satwa liar. Dalam proses *covering* diperoleh bahwa terdapat 2 lokasi tutupan untuk kawasan konservasi dalam hal ini berarti semua spesies dapat ditemukan hidup dikedua situs ini, tetapi karena kedua situs tersebut tidak terhubung maka harus menghubungkannya dengan menemukan semua jalur yang menghubungkan kedua situs tersebut. Dari prosedur tersebut dihasilkan terdapat tiga titik sebagai tutupan yang terhubung dengan jarak minimum 98 km di sepanjang pohon merentang.

Cerdeira dkk. (2005) membahas pentingnya konektivitas dalam pemilihan area prioritas untuk konservasi. Metode yang digunakan merupakan algoritma heuristik untuk menemukan jaringan terhubung terkecil dimana semua spesies diwakili setidaknya sekali, serta teknik pemrograman linier dan pemotongan bulat untuk menetapkan batas bawah nilai optimal. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini menghasilkan jaringan yang lebih baik dalam hal keterhubungan dibandingkan metode tradisional, yang cenderung menghasilkan jaringan yang terpisah-pisah.

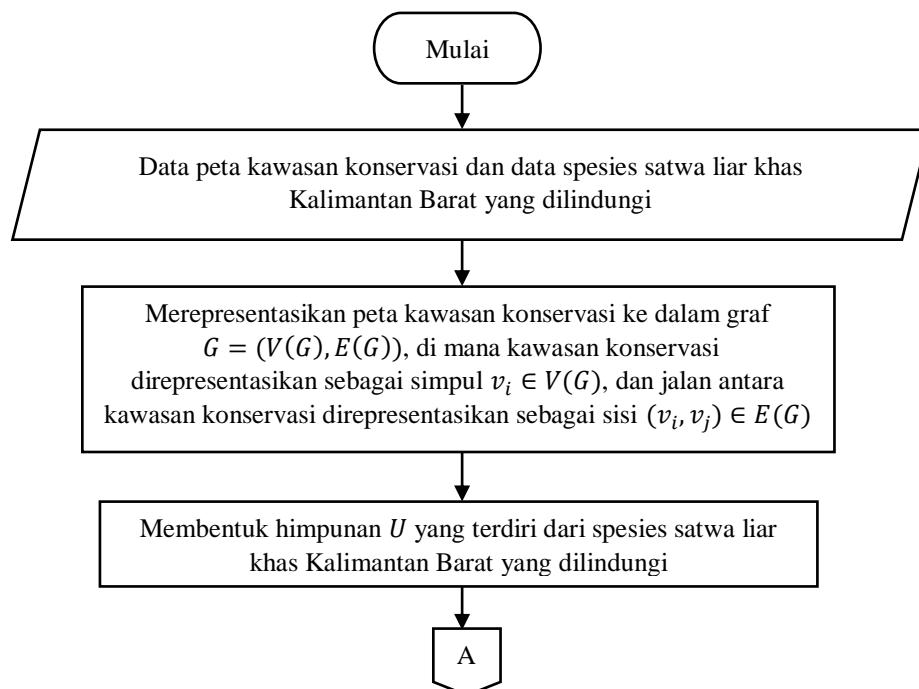
Conrad dkk. (2012) membahas tantangan dan solusi terkait dengan perancangan koridor satwa liar untuk mengurangi fragmentasi habitat. Penelitian ini berfokus pada optimalisasi desain koridor dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti biaya, utilitas, dan kompleksitas komputasi. Penelitian tersebut mengusulkan algoritma hibrida yang menggabungkan algoritma graf dengan pemrograman integer campuran untuk skala besar dan memberikan wawasan tentang kompleksitas desain koridor konservasi.

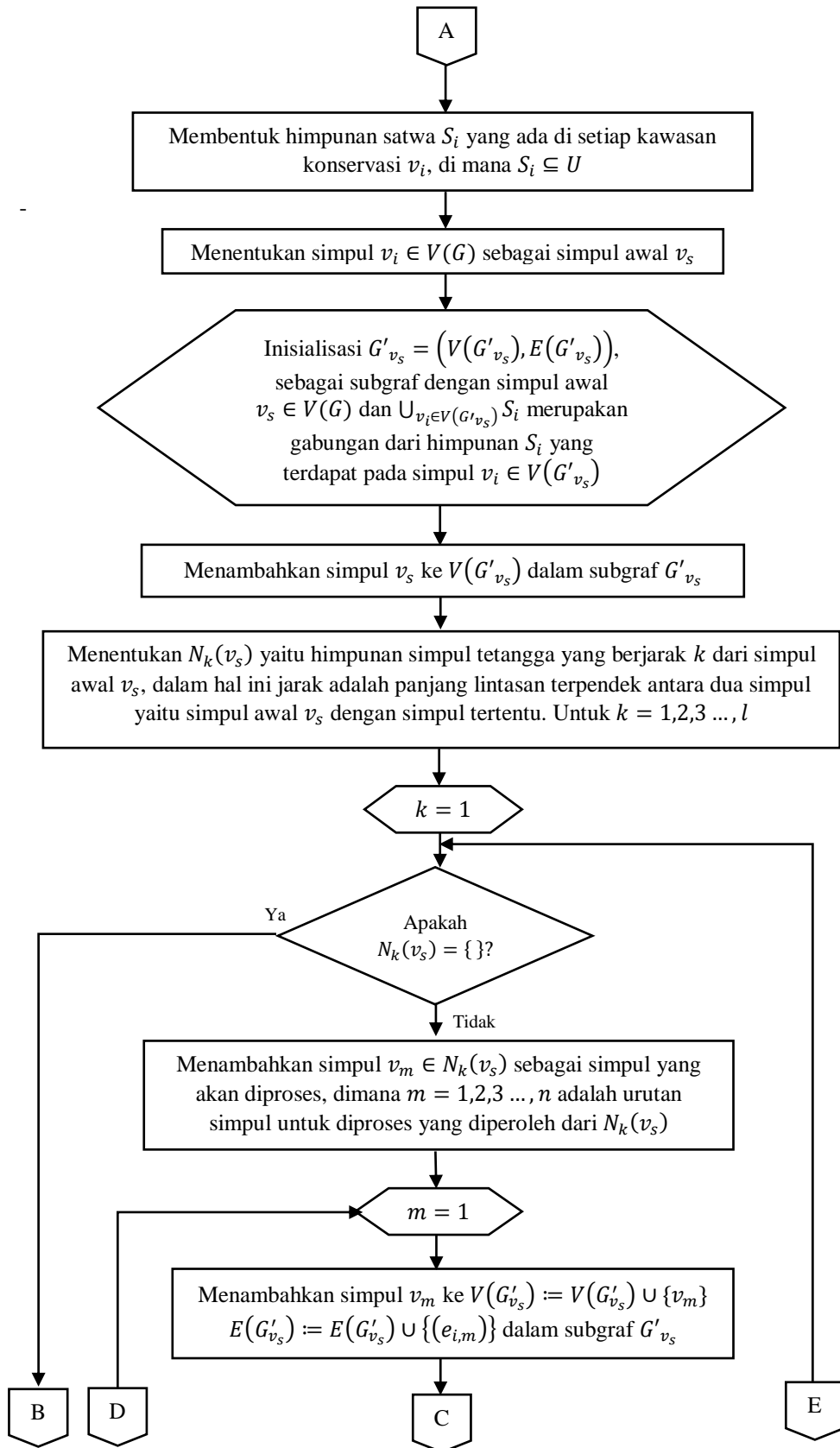
Wang dkk. (2023) membahas mengenai cara mengoptimalkan sistem koridor satwa liar untuk menghubungkan habitat terpisah. Membangun koridor satwa liar untuk menghubungkan bagian-bagian habitat yang terpisah merupakan strategi konservasi yang banyak dianjurkan untuk mengurangi dampak buruk dari fragmentasi habitat. Penelitian ini merancang sistem koridor yang efisien memerlukan pendekatan optimalisasi.

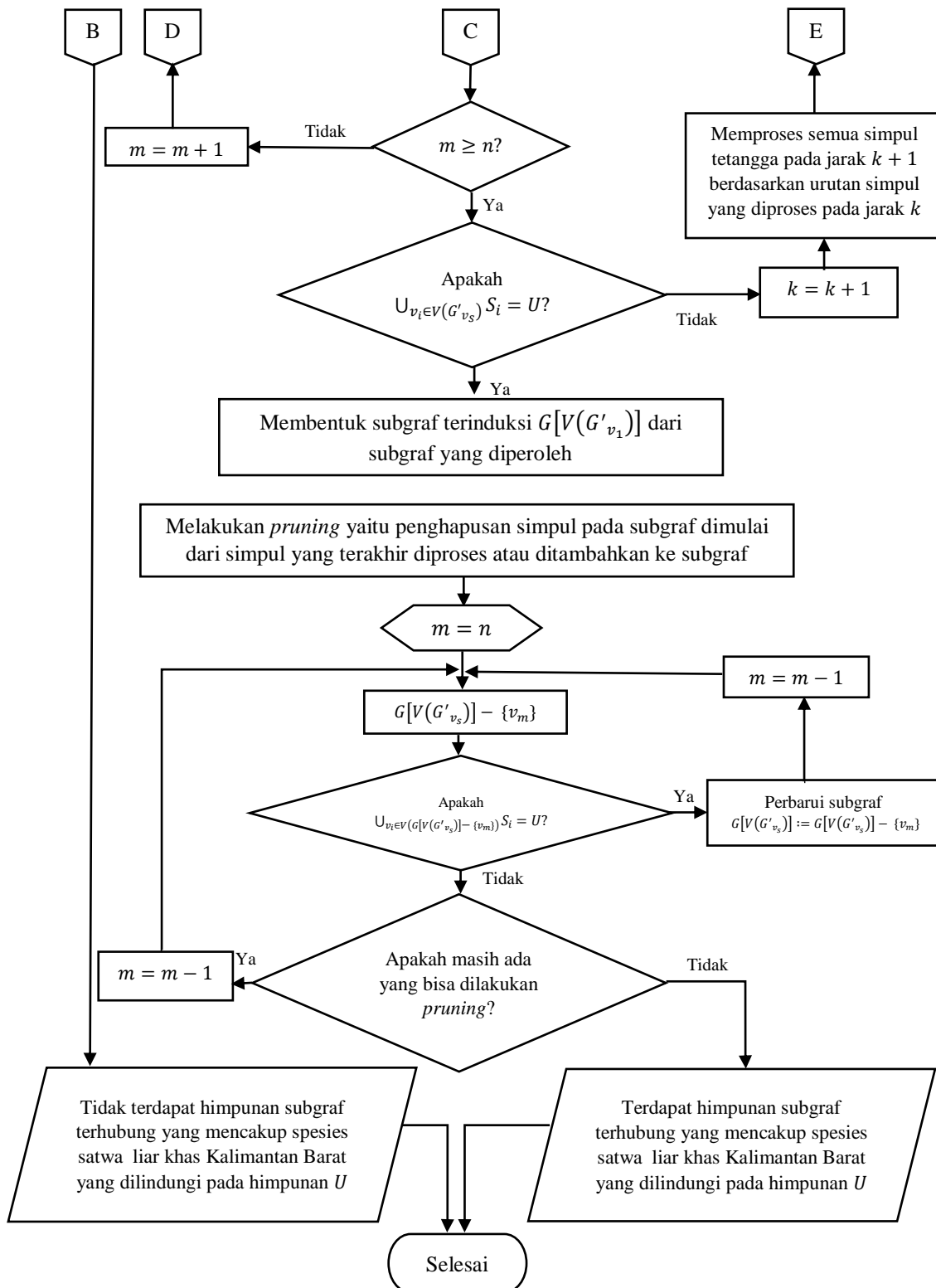
1.6 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur, yaitu membaca literatur yang berhubungan dengan konektivitas kawasan satwa liar. Literatur tersebut bersumber dari buku, artikel pada jurnal, dan penelusuran melalui internet. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari pengambilan data dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan dan Tata Lingkungan (BPKHTL) yaitu peta kawasan konservasi di Kalimantan Barat dan melakukan studi literatur terkait satwa khas Kalimantan Barat yang dilindungi.

Dalam penelitian ini, digunakan metode heuristik untuk menemukan subgraf terhubung yang mencakup semua elemen dalam himpunan spesies satwa liar khas Kalimantan Barat U . Langkah pertama, yaitu merepresentasikan peta kawasan konservasi ke dalam graf dengan kawasan konservasi sebagai simpul dan keterhubungan antara kawasan konservasi direpresentasikan sebagai sisi. Dua kawasan konservasi dikatakan terhubung jika vegetasi yang memungkinkan pergerakan satwa liar diantara dua kawasan konservasi. Selanjutnya dilakukan eksplorasi subgraf dengan mengunjungi tetangga dengan jarak k dari simpul awal, saat semua simpul pada jarak k sudah dikunjungi atau ditambahkan menjadi subgraf, himpunan spesies satwa pada yang terdapat pada simpul subgraf diperiksa apakah sudah mencakup atau memenuhi semua elemen dari himpunan spesies satwa liar khas Kalimantan Barat U . Jika tidak maka eksplorasi subgraf dilanjutkan dengan mengunjungi simpul dengan memperbarui jarak k menjadi $k = k + 1$. Jika cakupan terpenuhi, maka dibentuk subgraf terinduksi dari subgraf yang diperoleh dari proses eksplorasi sebelumnya, lalu dilakukan *pruning* (pemangkasan) untuk menghapus simpul yang tidak diperlukan atau tidak berpengaruh terhadap terpenuhinya cakupan. Subgraf yang diperoleh dari hasil *pruning*. Secara ringkas metodologi penelitian ini dapat disajikan pada *flowchart* pada Gambar 1.1.







Gambar 1. 1 Flowchart mencari subgraf terhubung dalam pembentukan koridor kehidupan liar

BAB II LANDASAN TEORI

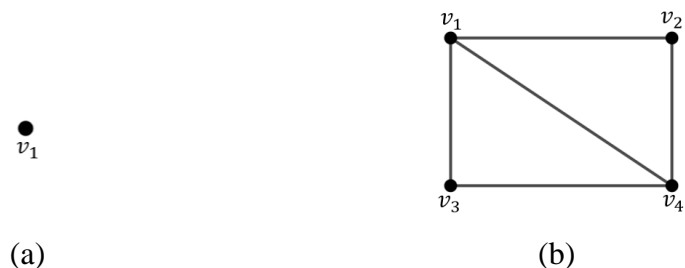
2.1 Konsep Dasar Teori Graf

Teori graf merupakan suatu bidang matematika yang dapat dibuat dengan himpunan titik dan sisi yang penerapannya dapat ditemui dalam kehidupan sehari-hari, termasuk permasalahan konektivitas antara suatu kawasan.

Definisi 2.1 (Foulds, 1995) *Suatu graf $G = (V(G), E(G))$, adalah pasangan terurut, dimana $E(G)$ adalah sebuah himpunan pasangan tak terurut dari simpul-simpul yang berbeda dari $V(G)$, dan $V(G)$ adalah sebuah himpunan berhingga dan tidak kosong yang elemen-elemennya disebut sebagai simpul.*

Definisi 2.1 menjelaskan bahwa graf setidaknya memiliki satu buah simpul tetapi dimungkinkan untuk tidak memiliki sisi. Simpul dan sisi pada graf dapat direpresentasikan secara bebas. Simpul dapat dilabeli sebagai titik, angka, huruf, atau bulatan. Sisi dapat digambar sebagai garis lurus atau garis melengkung.

Pada skripsi ini simpul direpresentasikan dengan titik dan sisi direpresentasikan dengan garis. Sebuah graf sebagai sebuah pasangan himpunan yang dinotasikan dengan $G = (V(G), E(G))$ terdiri dari suatu himpunan simpul v_i dan v_j yaitu $V(G) = \{v_1, v_2, \dots\}$, dan sebuah himpunan $E(G) = \{e_1, e_2, \dots\}$ merupakan himpunan sisi yang menghubungkan simpul v_i dan v_j , maka sisi juga dapat dituliskan sebagai suatu pasangan tak terurut $e_{i,j} = (v_i, v_j)$. Representasi dari Definisi 2.1 pada Gambar 2.1



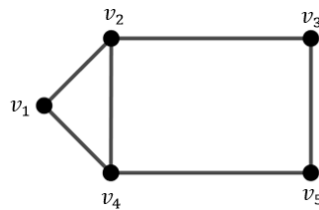
Gambar 2. 1 (a) Graf G_1 (b) Graf G_2

Contoh 2.2 Perhatikan Graf G_1 dan graf G_2 .

Graf $G_1 = (\{v_1\}, \{\})$ memiliki satu simpul yaitu $V(G_1) = \{v_1\}$ dan tidak memiliki sisi, seperti Definisi 2.1 bahwa graf bisa tanpa sisi tapi setidaknya harus memiliki satu simpul. Graf $G_2 = (\{v_1, v_2, v_3, v_4\}, \{e_{1,2}, e_{1,3}, e_{1,4}, e_{2,4}, e_{3,4}\})$ memiliki empat simpul $V(G_1) = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ dan lima sisi $E(G) = \{e_{1,2}, e_{1,3}, e_{1,4}, e_{2,4}, e_{3,4}\}$.

Terdapat beberapa jenis graf berdasarkan orientasi arah pada sisi yaitu graf tak berarah dan graf berarah. Untuk lebih jelasnya diberikan Definisi 2.3 dan Definisi 2.4.

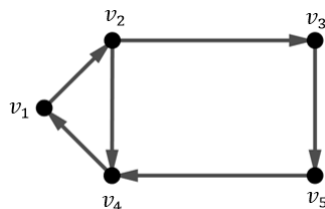
Definisi 2.3 (Munir, 2010) Suatu graf $G = (V(G), E(G))$ yang tidak memiliki orientasi arah dengan $e_{i,j} = e_{j,i}$ adalah sisi yang sama disebut graf tak berarah.



Gambar 2. 2 Graf tak berarah G_3

Berdasarkan Definisi 2.3 suatu graf dikatakan graf tidak berarah jika tidak memiliki orientasi arah. Sebaliknya jika graf memiliki orientasi arah graf merupakan graf berarah akan dijelaskan pada Definisi 2.4

Definisi 2.4 (Munir, 2010) Suatu graf $G = (V(G), E(G))$ yang memiliki orientasi arah dengan $e_{i,j}$ dan $e_{j,i}$ menyatakan dua buah busur yang berbeda atau $e_{i,j} \neq e_{j,i}$ disebut graf berarah.



Gambar 2. 3 Graf berarah G_4

Sisi berarah biasa disebut busur (*arc*). Pada busur $e_{i,j}$, simpul v_i dinyatakan sebagai simpul asal dan simpul v_j dinamakan simpul terminal.

2.2 Terminologi Dasar Graf

Terdapat beberapa terminologi atau istilah dasar dalam graf. Terminologi graf yang perlu dipahami dan akan digunakan dalam pembahasan graf.

Definisi 2.5 (Bollobás, 1998) *Jika dua buah simpul pada sebarang graf $G = (V(G), E(G))$ terhubung oleh suatu sisi maka kedua buah simpul dikatakan bertetangga. Dan dua sisi dikatakan bertetangga jika keduanya mempunyai tepat satu titik ujung yang sama.*

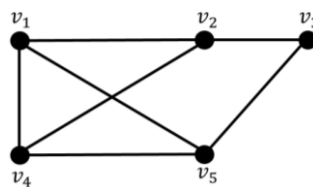
Sisi pada graf berarah disebut busur. Jika $(e_{1,2})$ merupakan busur maka v_1 dikatakan bertetangga dengan v_2 . Untuk lebih jelas, akan diberikan Contoh 2.6

Contoh 2.6 Perhatikan graf G_3 pada Gambar 2.2, simpul v_1 bertetangga dengan simpul v_2 dan v_3 tetapi simpul v_1 tidak bertetangga dengan simpul v_4 begitu juga dengan simpul v_2 bertetangga dengan simpul v_1 dan v_4 tetapi tidak bertetangga dengan simpul v_3 .

Definisi 2.7 (Bollobás, 1998) *Persekitaran suatu simpul $v_i \in V(G)$ pada graf $G = (V(G), E(G))$ adalah himpunan semua simpul yang merupakan tetangga v_i , dinotasikan dengan $N(v_i)$ yang disebut sebagai persekitaran terbuka v_i , dan $N[v_i] \cup \{v_i\}$ disebut sebagai persekitaran tertutup v_i .*

Persekitaran terbuka $N(v_i)$ merupakan himpunan semua tetangga v_i tanpa menyertakan simpul sedangkan persekitaran tertutup $N[v_i] \cup \{v_i\}$ merupakan himpunan semua tetangga v_i ditambah dengan simpul v_i itu sendiri.

Contoh 2.8 Diberikan graf G_5



Gambar 2. 4 Graf G_5

Graf G_5 dengan simpul $V(G_5) = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$, maka diperoleh persekitaran atau himpunan bertetangga dari simpul v , $N(v_1) = \{v_2, v_4\}$, $N(v_2) = \{v_1, v_3, v_4\}$, $N(v_3) = \{v_2, v_5\}$, $N(v_4) = \{v_1, v_2, v_5\}$, dan $N(v_5) = \{v_1, v_3, v_4\}$.

Persekitaran tertutupnya adalah $N[v_1] = \{v_1, v_2, v_4\}$, $N[v_2] = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$, $N[v_3] = \{v_2, v_3, v_5\}$, $N[v_4] = \{v_1, v_2, v_5\}$, dan $N[v_5] = \{v_1, v_3, v_4\}$.

Selain istilah bertetangga yang menggambarkan hubungan antara dua simpul. Terdapat juga istilah bersisian yang menggambarkan bagaimana kedua simpul dan sisi saling terhubung.

Definisi 2.9 (Foulds, 1995) *Pada setiap graf $G = (V(G), E(G))$ dua buah simpul dianggap bersisian atau insiden dengan sisi yang menghubungkan kedua simpul tersebut.*

Contoh 2.10 Perhatikan graf G_3 , simpul v_1 dan v_2 memiliki satu sisi yaitu $e_{1,2}$ yang menghubungkan kedua simpul sehingga dapat dikatakan v_1 dan v_2 bersisian, begitu pula dengan simpul-simpul lain.

Keterhubungan antara suatu simpul dan sisi, yang merupakan jumlah sisi yang terhubung dengan suatu simpul. Istilah ini berhubungan dengan insidensi.

Definisi 2.11 (Munir, 2010) *Suatu graf $G = (V(G), E(G))$ terdapat derajat simpul $d(v)$ yang merupakan jumlah sisi yang bersisian dengan simpul tersebut.*

Contoh 2.12 Perhatikan graf G_5 , pada Gambar 2.5 simpul v_1 memiliki tiga sisi yang bersisian dengan simpul v_1 yaitu sisi $e_{1,2}$, $e_{1,4}$, $e_{1,5}$, dalam hal ini maka derajat v_1 adalah $d(v_1) = 3$.

Selanjutnya, untuk memahami bagaimana pergerakan dalam graf. Terdapat beberapa istilah graf yaitu jalan (*walk*), jejak (*trail*), lintasan (*path*), sirkuit (*circuit*), dan sikel (*cycle*)

Definisi 2.13 (Foulds, 1995) *Sebuah jalan (walk) dalam sebuah graf G , adalah sebuah urutan simpul-simpul dan sisi-sisi dari G yang berbentuk:*

$$(v_1, e_{1,2}, v_2, e_{2,3}, v_3, \dots, v_{n-1}, e_{n-1,n}, v_n)$$

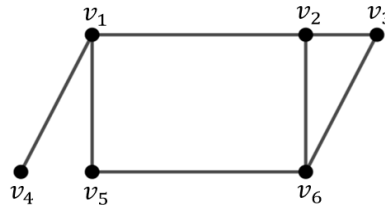
Suatu jalan dikatakan tertutup jika $v_1 = v_n$, dan dikatakan terbuka jika berlaku sebaliknya.

(i). *Jejak (trail) adalah jalan terbuka dengan semua sisinya berbeda.*

(ii). *Lintasan (path) adalah jalan terbuka dengan semua simpulnya berbeda (semua sisinya juga pasti berbeda).*

(iii). *Sikel (cycle)* adalah jalan tertutup dengan setidaknya tiga simpul dan semua simpulnya berbeda kecuali simpul pertama dan simpul terakhir.

Contoh 2.14 Perhatikan graf G_6



Gambar 2. 5 Graf G_6

Graf G_6 memiliki enam simpul $V(G_6) = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$, dan memiliki tujuh sisi $E(G_6) = \{e_{1,2}, e_{1,4}, e_{1,5}, e_{2,3}, e_{2,6}, e_{3,6}, e_{5,6}\}$

- i Jalan: $v_1, e_{1,2}, v_2, e_{2,6}, v_6, e_{6,5}, v_5, e_{5,1}, v_1, e_{1,4}, v_4$
- ii Jalan tertutup: $v_1, e_{1,2}, v_2, e_{2,3}, v_3, e_{3,2}, v_2, e_{2,6}, v_6, e_{6,5}, v_5, e_{5,1}, v_1$
- iii Jejak: $v_1, e_{1,2}, v_2, e_{2,6}, v_6, e_{6,5}, v_5, e_{5,1}, v_1, e_{1,4}, v_4$
- iv Lintasan: $v_4, e_{4,1}, v_1, e_{1,5}, v_5, e_{5,6}, v_6$
- v Sikel: $v_1, e_{1,2}, v_2, e_{2,6}, v_6, e_{6,5}, v_5, e_{5,1}, v_1$

Jalan (*walk*) menjelaskan bagaimana dapat berpindah dari satu simpul ke simpul lain dalam graf.

Definisi 2.15 (Munir, 2010). *Panjang lintasan adalah jumlah sisi dalam lintasan tersebut.*

Contoh 2.16 Perhatikan graf G_6 pada Gambar 2.5 Lintasan $v_4, e_{4,1}, v_1, e_{1,5}, v_5, e_{5,6}, v_6$, memiliki empat buah simpul yaitu v_1, v_4, v_5, v_6 , dan tiga buah sisi $e_{4,1}, e_{1,5}, e_{5,6}$. Karena jumlah sisinya adalah 3, maka panjang lintasannya adalah 3.

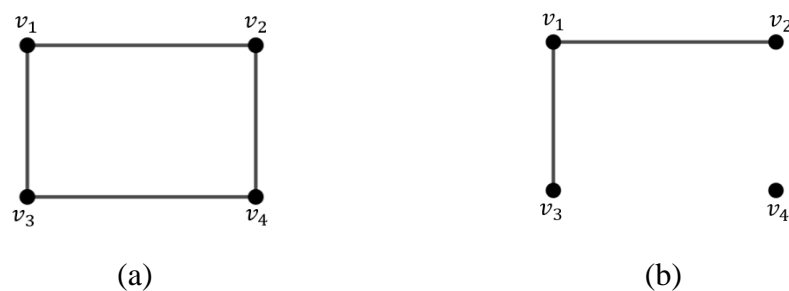
Definisi 2.17 (Cormen dkk., 2009) *Lintasan terpendek adalah lintasan dari simpul v_i ke suatu simpul lain yang memiliki jumlah sisi paling sedikit.*

Definisi 2.18 (Cormen dkk., 2009) *Jarak suatu simpul pada sebarang graf $G = (V(G), E(G))$ adalah panjang lintasan terpendek, yaitu jumlah minimum dari sisi-sisi dalam lintasan apapun dari simpul v_i ke simpul v_j , dinotasikan dengan $d(v_i, v_j)$. Jika tidak ada lintasan dari v_i ke v_j , maka $d(v_i, v_j) = \infty$.*

2.3 Konektivitas

Dalam teori graf, konektivitas mengacu pada kemampuan untuk mencapai satu simpul dari simpul lain melalui serangkaian sisi atau lintasan atau dengan kata lain keterhubungan antar simpul dalam suatu graf.

Definisi 2.19 (Bollobás, 1998) *Sebuah graf dikatakan terhubung jika untuk setiap pasangan simpul yang berbeda, terdapat sebuah lintasan atau sisi yang menghubungkan kedua simpul tersebut.*



Gambar 2. 6 (a) Graf G_7 (b) Graf G_8

Pada Definisi 2.19, dijelaskan mengenai istilah graf terhubung. Untuk lebih jelasnya, berikut diberikan Contoh 2.20.

Contoh 2.20 Berdasarkan Gambar 2.6 (a), graf G_7 memiliki empat simpul dan empat sisi graf tersebut dikatakan terhubung karena pada setiap pasangan simpul yang berbeda terdapat lintasan yang menghubungkan kedua simpul diantaranya $\{e_{1,2}, e_{1,3}, e_{2,4}, e_{3,4}\}$. Selanjutnya graf G_8 pada Gambar 2.6 (b) memiliki empat simpul dan tiga sisi, tidak ada lintasan yang menghubungkan simpul v_4 dengan simpul lainnya. Dalam graf terhubung setiap simpul dapat dicapai dari simpul lainnya melalui satu atau lebih sisi, jika tidak maka simpul yang terisolasi atau simpul terpencil.

Definisi 2.21 (Munir, 2010) *Simpul terpencil adalah simpul yang tidak memiliki sisi yang bersisian dengannya. Dengan kata lain, simpul terpencil merupakan simpul yang tidak satupun bertetangga dengan simpul-simpul lainnya.*

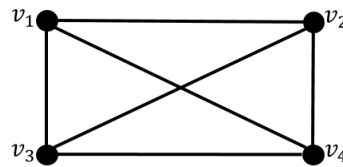
Pada Gambar 2.6 (b) simpul v_4 merupakan simpul terpencil karena simpul v_4 tidak bertetangga dengan simpul manapun dan tidak memiliki sisi yang bersisian dengannya.

Definisi 2.22 (Zhang dkk.,2022) *Pruning atau pemangkasan merupakan proses menghapus elemen-elemen tertentu, seperti sisi atau simpul, dari sebuah graf tanpa mengganggu keseluruhan struktur atau konektivitasnya.*

Hal ini biasanya digunakan untuk menyederhanakan atau mengoptimalkan graf untuk aplikasi tertentu, seperti meningkatkan efisiensi komputasi, mengurangi kompleksitas, atau fokus pada subgraf yang relevan.

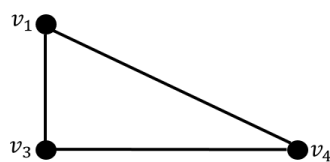
Definisi 2.23 (Bollobás, 1998) *Suatu graf $G = (V(G), E(G))$, dengan simpul $v_i \in V(G)$, jika simpul v_i dihapus dari graf G , maka graf yang dihasilkan memiliki himpunan simpul $V(G) - \{v_i\}$ dan $E(G) - \{(e_{i,j}) | (v_i, v_j) \text{ bersisian dengan } v_i\}$.*

Contoh 2.24 Perhatikan graf G_9



Gambar 2. 7 Graf G_9

Graf $G_9 = (\{v_1, v_2, v_3, v_4\}, \{e_{1,2}, e_{1,3}, e_{1,4}, e_{2,4}, e_{3,4}\})$, akan dihapus simpul v_2 , maka $G_9 - v_2$ diperoleh $V(G) - \{v_2\} = \{v_1, v_3, v_4\}$ dan $E(G) - \{e_{1,2}, e_{2,4}\} = \{e_{1,3}, e_{1,4}, e_{3,4}\}$ sehingga graf yang dihasilkan dari penghapusan v_2 adalah $G_9 - v_2 = (\{v_1, v_3, v_4\}, \{e_{1,3}, e_{1,4}, e_{3,4}\})$, diberikan pada Gambar 2.8



Gambar 2. 8 Graf hasil penghapusan simpul v_2 pada graf G_9

Definisi 2.26 (Foulds, 1995) *Komponen pada suatu graf G adalah subgraf terhubung maksimal dari graf G .*

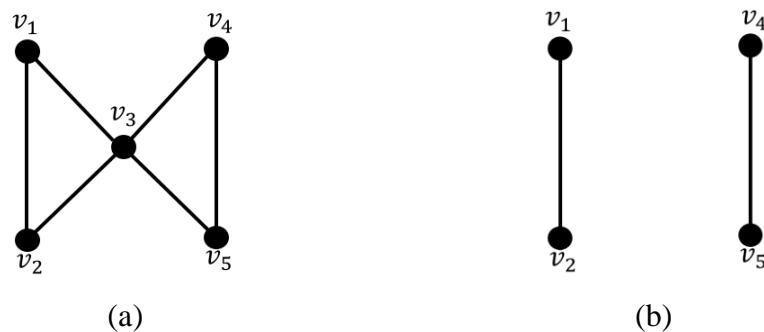
Jika sebuah graf terhubung, maka seluruh graf adalah satu komponen terhubung. Jika sebuah graf tidak terhubung, maka graf tersebut terdiri dari beberapa komponen terhubung, yang terpisah satu sama lain. Ini menunjukkan bahwa komponen terhubung dapat menjangkau setiap simpul dari simpul lainnya melalui sisi yang ada dalam graf, dimana jika ada simpul tambahan ditambahkan

ke dalamnya, komponen tersebut tidak akan lagi terhubung, ini menunjukkan bahwa komponen tersebut telah mencapai keadaan maksimal dalam hal keterhubungan.

Contoh 2.27 Perhatikan graf G_7 dan graf G_8 pada Gambar 2.6. Graf G_7 merupakan suatu graf terhubung, yang mana dalam hal ini graf tersebut merupakan satu komponen graf yang terdiri dari himpunan simpul $V(G_7)$ dan himpunan sisi $E(G_7)$. Sedangkan pada graf G_8 yang merupakan graf tak-terhubung memiliki dua komponen dimana dua komponen tersebut merupakan subgraf terhubung maksimal dari graf G_8 . Subgraf $G'_8 = (\{v_1, v_2, v_3\}, \{e_{1,2}, e_{1,3}\})$ dan subgraf lainnya yaitu $G''_8 = (\{v_4\}, \{\})$, masing masing merupakan subgraf maksimal dari graf G_8 .

Ini menunjukkan bahwa komponen terhubung dapat menjangkau setiap simpul dari simpul lainnya melalui sisi yang ada dalam graf, dimana jika ada simpul tambahan ditambahkan ke dalamnya, komponen tersebut tidak akan lagi terhubung, ini menunjukkan bahwa komponen tersebut telah mencapai keadaan maksimal dalam hal keterhubungan.

Definisi 2.28 (Foulds, 1995) Pada suatu graf terhubung $G = (V(G), E(G))$, sebuah simpul $v_i \in V(G)$ disebut simpul pemisah (cut-vertex) jika $G - v$ membuat graf G menjadi tidak terhubung.

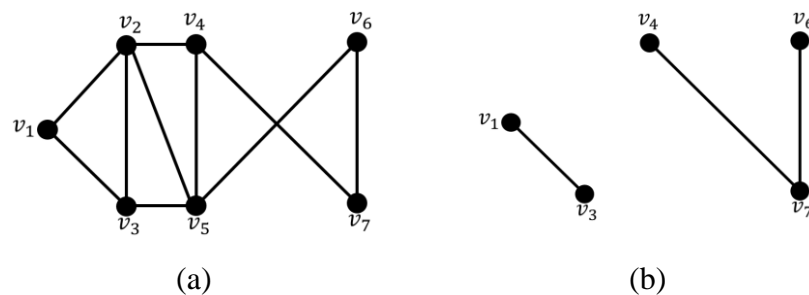


Gambar 2. 9 (a) Graf G_{10} (b) Graf G_{10} setelah v_3 dihapus

Berdasarkan graf G_{10} pada Gambar 2.9 (a), graf G_{10} memiliki himpunan simpul $V(G_{10}) = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$ dan $E(G_{10}) = \{e_{1,2}, e_{1,3}, e_{2,3}, e_{3,4}, e_{3,5}, e_{4,5}\}$. Jika simpul $v_3 \in V(G_{10})$ dihapus, graf G_9 akan terpecah menjadi dua komponen seperti pada Gambar 2.9 (b). Jadi, dalam graf G_{10} , simpul v_3 adalah *cut-vertex*.

Definisi 2.29 (Wilson, 2010) *Himpunan pemisah (separating set) di dalam sebuah graf terhubung G adalah sebuah himpunan simpul yang jika dihapus akan menjadikan G tak-terhubung. Jumlah simpul terkecil yang menjadikan G tak-terhubung, merupakan konektivitas simpul yang dinotasikan dengan $k(G)$.*

Dalam hal ini menghapus simpul artinya juga menghapus sisi-sisi yang terhubung dengan simpul tersebut. Jika G adalah graf terhubung dan bukan graf lengkap, konektivitas simpul $k(G)$ adalah ukuran himpunan pemisah terkecil di dalam G .

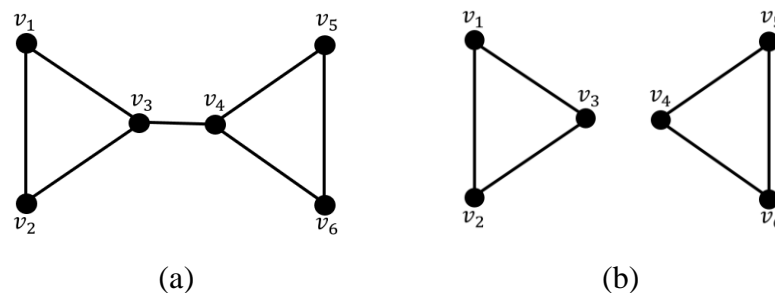


Gambar 2. 10 (a) Graf G_{11} (b) Graf G_{11} setelah v_2 dan v_5 dihapus

Berdasarkan Gambar 2.8 Pada graf G_{11} , himpunan simpul $\{v_2, v_5\}, \{v_2, v_3\}, \{v_4, v_5\}, \{v_4, v_6\}, \{v_5, v_7\}$ adalah himpunan pemisah. Sebagai contoh pada Gambar 2.10 (b), himpunan pemisah $\{v_2, v_5\}$ membuat graf G_{11} terbentuk menjadi dua komponen.

Contoh 2.30 Berdasarkan Gambar 2.8 dapat dikatakan bahwa untuk memutus konektivitas graf, setidaknya dua simpul yang harus dihapus. Dengan demikian, konektivitas simpul $k(G_7) = 2$.

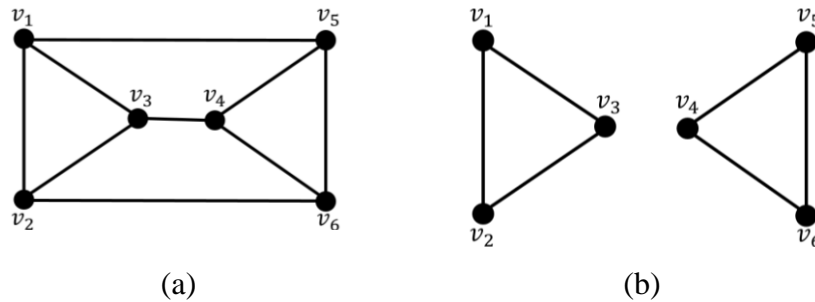
Definisi 2.31 (Foulds, 1995) *Suatu graf $G = (V(G), E(G))$, sebuah sisi $e_{i,j} \in E(G)$ disebut jembatan (bridge) jika $G - e$ menyebabkannya graf G tak-terhubung.*



Gambar 2. 11 (a) Graf G_{12} (b) Graf G_{12} setelah $e_{3,4}$ dihapus

Berdasarkan Gambar 2.11 (a) graf G_{11} dengan himpunan simpul $V(G_{11}) = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ dan sisi $E(G_{11}) = \{e_{1,2}, e_{1,3}, e_{2,3}, e_{3,4}, e_{4,5}, e_{4,6}, e_{5,6}\}$. Pada graf G_{11} , penghapusan salah satu sisi $e_{1,2}, e_{1,3}, e_{2,3}, e_{4,5}, e_{4,6}, e_{5,6}$ tidak memutus konektivitas graf, karena simpul-simpul lainnya masih saling terhubung melalui sisi-sisi lain. Namun, jika sisi $e_{3,4}$ dihapus, simpul v_3 dan v_4 menjadi terpisah, menyebabkan graf tidak terhubung dan terbagi menjadi dua komponen. Oleh karena itu, $e_{3,4}$ adalah satu-satunya jembatan dalam graf G_{12} .

Definisi 2.32 (Wilson, 2010) *Himpunan pemutus (disconnecting set) di dalam sebuah graf terhubung G adalah sebuah himpunan sisi yang jika dihapus akan menyebabkan G tak terhubung.*



Gambar 2. 12 (a) Graf G_{13} (b) Graf G_{13} setelah penghapusan sisi

Berdasarkan Gambar 2.12 (a), graf G_{13} dengan himpunan $V(G_{13}) = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ dan $E(G_{13}) = \{e_{1,2}, e_{1,3}, e_{1,5}, e_{2,3}, e_{2,6}, e_{3,4}, e_{4,5}, e_{4,6}, e_{5,6}\}$. Jika sisi $\{e_{1,5}, e_{2,6}, e_{3,4}\}$ dihapus, maka graf tidak terhubung dan terbagi menjadi dua komponen. Oleh karena itu, $\{e_{1,5}, e_{2,6}, e_{3,4}\}$ adalah himpunan pemutus dalam graf G_{13} . Kemudian terdapat suatu himpunan yang merupakan bagian dari himpunan pemutus yang minimal yang dapat memutus keterhubungan graf, yaitu himpunan potong yang akan dijelaskan pada Definisi 2.33.

Definisi 2.33 (Wilson, 2010) *Himpunan potong (cutset) yaitu sebuah himpunan pemutus minimal yang merupakan himpunan bagian dari himpunan pemutus. Jika graf G terhubung, konektivitas sisi (edge connectivity) $\lambda(G)$ adalah jumlah sisi terkecil yang perlu dihapus agar G tak-terhubung.*

Contoh 2.34 Perhatikan graf G_{13} pada Gambar 2.12 (a) penghapusan sisi, seperti $\{e_{1,5}, e_{2,6}, e_{3,4}\}$, sudah cukup untuk membuat graf terputus. Karena jumlah minimal

sisi yang bisa dihapus untuk membuat graf G_{13} terputus adalah 3, maka konektivitas sisi graf G_{13} adalah $\lambda(G_{13}) = 3$.

2.4 Subgraf

Suatu graf terhubung memiliki graf lain yang merupakan bagian dari graf tersebut yang biasa disebut subgraf, dijelaskan pada Definisi 2.35.

Definisi 2.35 (Munir, 2010) *Sebuah graf $G = (V(G), E(G))$ terdapat graf lain yang merupakan bagian dari graf G yaitu $G' = (V(G'), E(G'))$ yang disebut subgraf dengan $V(G') \subseteq V(G)$ dan $E(G') \subseteq E(G)$.*

Contoh 2.36 Perhatikan graf $G_6 = (\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}, \{e_{1,2}, e_{1,4}, e_{1,5}, e_{2,3}, e_{2,6}, e_{3,6}, e_{5,6}\})$, pada Gambar 2.6

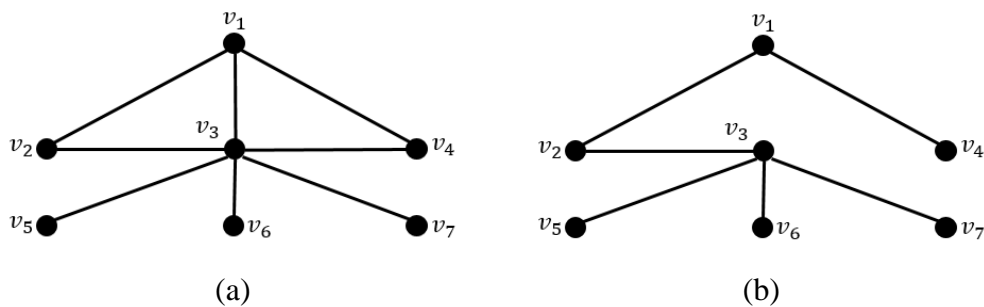


Gambar 2.13 Subgraf dari G_6

Pada Gambar 2.13 terdapat subgraf G'_6 dari graf G_6 dengan $V(G'_6) = \{v_1, v_2\}$ merupakan himpunan bagian dari $V(G_6) = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ dan $E(G'_6) = \{e_{1,2}\}$ yang merupakan himpunan bagian $(G'_6) = \{e_{1,2}, e_{1,4}, e_{1,5}, e_{2,3}, e_{2,6}, e_{3,6}, e_{5,6}\}$, dengan kata lain $V(G'_6) \subseteq V(G_6)$ dan $E(G'_6) \subseteq E(G_6)$.

Definisi 2.37 (Diestel, 2017) *Subgraf terhubung adalah subgraf $G' = (V(G'), E(G'))$ dimana setiap pasang simpul dalam subgraf tersebut terhubung melalui jalur.*

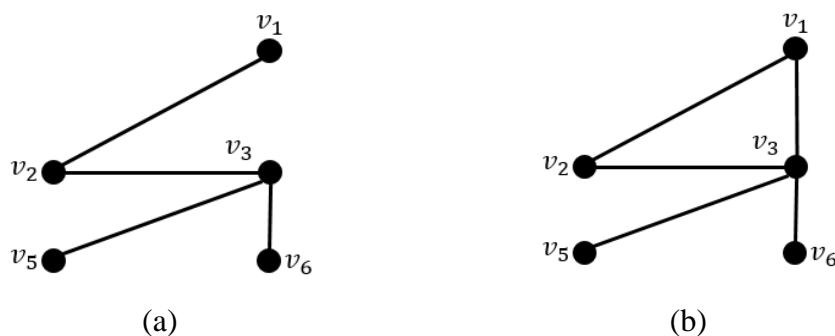
Definisi 2.38 (Bollobás, 1998) *Suatu subgraf $G' = (V(G'), E(G'))$ jika $V(G') = V(G)$, maka G' disebut subgraf merentang dari G .*



Gambar 2.14 (a) Graf G_{14} , (b) Subgraf merentang dari graf G_{14}

Berdasarkan Gambar 2.14, subgraf merentang dari graf G_{14} memuat seluruh simpul yang ada dalam graf G_{14} , meskipun tidak semua sisi dari graf tersebut disertakan. Dapat disimpulkan bahwa subgraf merentang adalah subgraf yang memuat semua simpul dari graf asalnya, tetapi tidak semua sisi dimuat dalam subgraf. Selanjutnya, terdapat subgraf yang memuat semua sisi yang menghubungkan simpul-simpul yang merupakan bagian simpul dari graf asli, seperti yang dijelaskan pada Definisi 2.39.

Definisi 2.39 (Bollobás, 1998) *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 $V(G')$. Dengan kata lain, $E(G') = \{e_{i,j} \in E(G) \mid v_i \in V(G'), v_j \in V(G')\}$.*

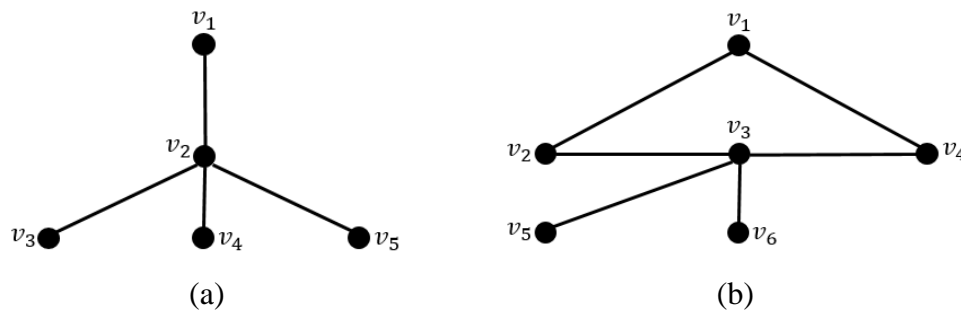


Gambar 2. 15 (a) Subgraf G'_{14} dari G_9 , (b) Subgraf terinduksi $G[V(G'_{14})]$

Contoh 2.40 Berdasarkan Gambar 2.15 (a), G'_{14} merupakan subgraf dari graf G_{14} yang diberikan pada Gambar 2.14 (a). Dari subgraf $G'_{14} = (\{v_1, v_2, v_3, v_5, v_6\}, \{e_{1,2}, e_{2,3}, e_{3,5}, e_{3,6}\})$ dapat dibentuk subgraf terinduksi $G[V(G'_{14})]$ dimana himpunan simpul pada subgraf G'_{14} dan $G[V(G'_{14})]$ sama, dan $E(G[V(G')])$ merupakan himpunan semua sisi $E(G)$ yang menghubungkan dua simpul dalam $V(G'_{14})$, sehingga terdapat $G[V(G'_{14})] = (\{v_1, v_2, v_3, v_5, v_6\}, \{e_{1,2}, e_{1,3}, e_{2,3}, e_{3,5}, e_{3,6}\})$ seperti pada Gambar 2.15 (b).

Definisi 2.41 (Munir, 2010) *Graf tak-berarah terhubung yang tidak mengandung cycle (sikel) disebut pohon.*

Berdasarkan Definisi 2.24 salah satu ketentuan suatu graf dapat disebut pohon ialah graf tersebut tidak mempunyai cycle (siklus) atau bersifat *acyclic*. Untuk memahami lebih lanjut diberikan Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 (a) Graf G_{15} Pohon, (b) Graf G_{16} Bukan Pohon

Berdasarkan Gambar 2.16, terdapat dua sifat penting pada pohon yaitu terhubung dan tidak mengandung sirkuit. Pohon juga bisa didefinisikan sebagai graf tak-berarah dimana hanya terdapat sebuah lintasan antara setiap pasang simpul.

2.5 Set Covering Problem

Set Covering Problem merupakan masalah untuk mencari minimum himpunan subset dari sebuah himpunan subset yang dapat menggabungkan semua elemen dalam sebuah himpunan. *Set Covering Problem* termasuk masalah NP-hard dalam optimasi kombinatorial, artinya tidak ada algoritma yang benar-benar dapat menyelesaikan masalah ini dalam semua kasus, tetapi ada beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk menemukan solusi yang baik.

Set Covering Problem menggambarkan banyak masalah kombinatorial yang sering muncul. Sebagai contoh, misalnya U mewakili himpunan keterampilan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu masalah dan terdapat himpunan orang yang tersedia untuk bekerja pada masalah tersebut, untuk membentuk sebuah komite dengan jumlah orang yang sekecil mungkin, sehingga untuk setiap keterampilan yang diperlukan dalam U , setidaknya satu anggota memiliki keterampilan tersebut. Dalam *Set Covering Problem*, pertanyaannya apakah ada penutup yang berukuran paling banyak p , dimana p adalah parameter tambahan yang ditentukan dalam masalah.

Definisi 2.42 (Cormen dkk., 2009) Suatu (U, S) dari *Set Covering Problem* terdiri dari himpunan hingga U dan sebuah keluarga S dari himpunan-himpunan bagian dari U , dimana setiap elemen dari U termasuk dalam setidaknya satu himpunan di S .

$$U = \bigcup_{S_i \in S} S_i$$

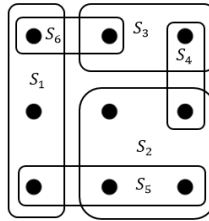
Maka dapat dikatakan bahwa $S_i \in S$ mencakup elemennya.

Masalahnya adalah menemukan himpunan bagian $C \subseteq S$ dengan ukuran sekecil mungkin yang anggotanya mencakup seluruh U .

$$U = \bigcup_{S_i \in C} S_i$$

Dikatakan bahwa setiap C yang memenuhi $U = \bigcup_{S_i \in C} S_i$ mencakup U . Ukuran C adalah jumlah himpunan yang ada di dalamnya, bukan jumlah elemen individual dalam himpunan-himpunan tersebut, karena setiap himpunan bagian C yang mencakup U harus berisi semua elemen $|U|$.

Contoh 2.43 Perhatikan Gambar 2.17.



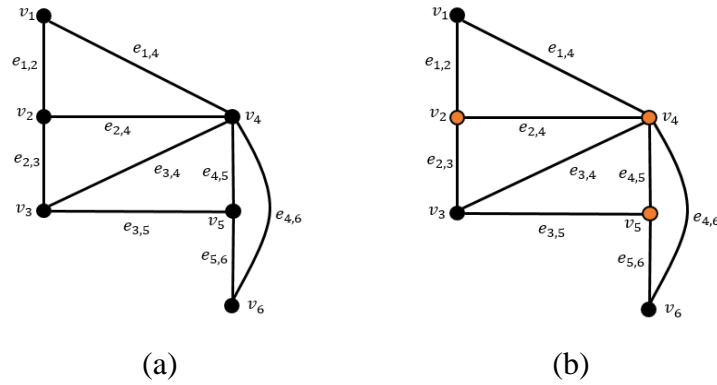
Gambar 2. 17 *Set Covering Problem*

Dari Gambar 2.17, himpunan U terdiri dari 9 elemen dan himpunan bagian $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$. Terdapat $\bigcup_{S_i \in S} S_i = S_1 \cup S_2 \cup S_4 \cup S_5 \cup S_6$, $\bigcup_{S_i \in S} S_i = S_1 \cup S_2 \cup S_4 \cup S_6$, dan $\bigcup_{S_i \in S} S_i = S_1 \cup S_2 \cup S_4$ merupakan *set-cover* (himpunan penutup) dengan masing-masing ukuran atau jumlah himpunan yaitu 5, 4, dan 3. Diperoleh minimum *set cover* nya adalah $C = \{S_1, S_2, S_3\}$ karena $S_1 \cup S_2 \cup S_3$ mencakup seluruh elemen atau simpul dari himpunan U dengan jumlah himpunan terkecil, dengan kata lain $C \subseteq U$ dan C merupakan *minimum set cover*.

Meskipun istilah *Set Covering Problem* tidak secara eksplisit digunakan dalam teori graf, konsep *covering* sering kali diterapkan pada masalah seperti *vertex cover*. *Vertex cover* bertujuan untuk menemukan himpunan simpul minimal dalam sebuah graf yang meng-*cover* semua sisi. Dalam hal ini *vertex cover* dapat direduksi menjadi *set cover* (Kleinberg & Tardos, 2005). Himpunan sisi $E(G)$ didefinisikan sebagai himpunan semesta U , dan setiap subset S_i memuat elemen yaitu sisi yang

bersisian dengan v_i . Tujuannya adalah memilih subset S_i sedemikian rupa sehingga semua sisi ter-cover atau tercakup (Kleinberg & Tardos, 2005). Dengan cara ini, masalah *vertex cover* dapat dipandang sebagai kasus khusus dari *set cover*, di mana kita mencari sejumlah simpul yang mencakup semua sisi dalam graf.

Contoh 2.44 Diberikan graf $G_{17} = (V(G_{17}), E(G_{17}))$, misalkan $U = E(G)$ dan S_i merupakan himpunan sisi yang bersisian dengan simpul $v_i \in V(G)$



Gambar 2.18 (a) Graf G_{17} , (b) *Vertex cover* Graf G_{17}

Berdasarkan Gambar 2.18(a) $U = \{e_{1,2}, e_{1,4}, e_{2,3}, e_{2,4}, e_{3,4}, e_{3,5}, e_{4,5}, e_{4,6}, e_{5,6}\}$ dan himpunan $S_1 = \{e_{1,2}, e_{1,4}\}$, $S_2 = \{e_{1,2}, e_{2,3}, e_{2,4}\}$, $S_3 = \{e_{2,3}, e_{3,4}, e_{3,5}\}$, $S_4 = \{e_{1,4}, e_{2,4}, e_{3,4}, e_{4,5}, e_{4,6}\}$, $S_5 = \{e_{3,5}, e_{4,6}, e_{5,6}\}$, $S_6 = \{e_{4,6}, e_{5,6}\}$ merupakan himpunan sisi yang bersisian dengan simpul v_i . Terdapat himpunan $\{S_2, S_4, S_5\}$ merupakan himpunan yang dapat meng-cover semua sisi graf karena $S_2 \cup S_4 \cup S_5 = \{e_{1,2}, e_{2,3}, e_{2,4}\} \cup \{e_{1,4}, e_{2,4}, e_{3,4}, e_{4,5}, e_{4,6}\} \cup \{e_{3,5}, e_{4,6}, e_{5,6}\} = U$. Maka diperoleh *vertex cover* yaitu $\{v_2, v_4, v_6\}$ seperti Gambar 2.18 (b).

2.6 Metode Heuristik

Metode heuristik adalah prosedur pemecahan masalah yang menggunakan pendekatan praktis, intuitif, dan disederhanakan untuk menemukan solusi yang cukup baik atau masuk akal pada masalah yang didefinisikan secara matematis, meskipun tidak menjamin solusi yang optimal (Silver dkk., 1980). Menurut Silver dkk (1980), ada berbagai alasan untuk menggunakan metode heuristik untuk memecahkan masalah, sebagai berikut:

- (a) Masalah matematis mungkin sedemikian rupa sehingga metode penyelesaian bentuk tertutup atau berulang tidak diketahui.
- (b) Bahkan jika solusi analitik atau iteratif yang tepat ada, solusi tersebut mungkin terlalu rumit secara komputasi atau tidak praktis dalam hal kebutuhan data. Hal ini terutama berlaku untuk metode enumeratif, yang secara teori dapat digunakan ketika solusi analitik atau iteratif tidak tersedia.
- (c) Metode heuristik sering kali lebih mudah dipahami oleh para pengambil keputusan, yang secara signifikan meningkatkan kemungkinan penerapannya.
- (d) Untuk masalah yang terdefinisi dengan baik dan dapat diselesaikan secara optimal, heuristik dapat berfungsi sebagai alat pembelajaran untuk mengembangkan pemahaman intuitif tentang variabel mana yang penting.
- (e) Heuristik dapat menjadi bagian dari proses berulang yang memastikan solusi optimal ditemukan.
- (f) Dalam pendekatan pemecahan masalah pencacahan implisit, solusi awal yang baik dapat memberikan batasan yang sangat mengurangi upaya komputasi. Heuristik dapat digunakan untuk menghasilkan solusi awal yang 'baik'.

2.7 Konservasi

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia Konservasi berarti pemeliharaan dan perlindungan sesuatu secara teratur untuk mencegah kerusakan dan kemusnahan dengan jalan mengawetkan; pengawetan; pelestarian. Konservasi adalah upaya untuk melindungi nilai keanekaragaman sumber daya alam hayati dan semua proses ekologi yang terjadi di dalam ekosistem dengan tujuan menjaga keseimbangan lingkungan dan mencegah kepunahan semua spesies flora dan fauna yang hidup di dalamnya. Menurut Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Pelestarian Alam, kawasan konservasi adalah wilayah yang ditetapkan sebagai kawasan suaka alam, kawasan pelestarian alam, taman buru, dan hutan lindung. Istilah "kawasan lindung" biasanya digunakan untuk menyebut area tersebut. Beberapa jenis kawasan konservasi memiliki fungsi strategis yang harus dilindungi. Yang pertama adalah Kawasan Pelestarian Alam, yang terdiri dari kawasan cagar alam dan suaka

margasatwa, dan yang kedua adalah Kawasan Suaka Alam, yang terdiri dari Taman Nasional, Taman Hutan Raya, dan Taman Wisata Alam (Sembiring, 1997).

Kawasan konservasi saat ini rentan terhadap kerusakan, penurunan kualitas, dan eksploitasi. Selain faktor alam, upaya manusia mengancam otoritas konservasi. Eksploitasi telah dilarang di tempat seperti Cagar Alam dan Taman Nasional, tetapi itu masih dilakukan. Hal-hal seperti itulah yang dapat menyebabkan fragmentasi habitat. Menurut Minor dan Urban (2009) dalam konservasi, fragmentasi adalah proses dimana suatu ekosistem atau habitat alami dibagi menjadi bagian yang lebih kecil yang memiliki karakteristik ekologis dan biologis yang berbeda. Fragmentasi habitat dapat menyebabkan jumlah atau luasan habitat yang tersedia bagi semua organisme berkurang. Untuk mencegah terjadinya dampak buruk pada habitat yang terfragmentasi diperlukan koridor hidupan liar atau area atau jalur bervegetasi baik alami maupun buatan yang menghubungkan dua atau lebih habitat atau kawasan konservasi yang memungkinkan pergerakan atau pertukaran individu antar populasi satwa.

2.8 Koridor Hidupan Liar

Berdasarkan Pedoman Penentuan Koridor Hidupan Liar Sebagai Ekosistem Esensial (2016), koridor hidupan liar adalah lorong atau jalur bervegetasi baik alami maupun buatan yang menghubungkan dua atau lebih habitat konservasi yang memungkinkan pergerakan atau pertukaran individu antar populasi satwa. Menurut Peraturan Direktur Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem Nomor P.1/KSDAE/BPE2/KSA.4/2/2021: "Koridor hidupan liar yang selanjutnya disebut Koridor adalah areal atau jalur baik alami maupun buatan yang menghubungkan dua atau lebih habitat yang berada di dalam dan di luar Kawasan Hutan kecuali Kawasan Suaka Alam, Kawasan Pelestarian Alam dan Taman Buru.". Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem Nomor: P.1/KSDAE/BPE2/KSA.4/2/2021 tentang Petunjuk Teknis Penilaian Efektivitas Pengelolaan Kawasan Ekosistem Esensial, kriteria koridor terdiri dari [a] vegetasi alami atau simpul vegetasi yang dapat menghubungkan dua ekosistem baik secara ekologis atau secara fisik; [b] jalur habitat bagi satwa liar terancam punah, endemik,

dan/atau dilindungi; dan/atau; [c] potensi konflik manusia dan satwa liar yang tinggi.

2.8.1. Koridor Alami

Koridor alami adalah bentuk yang tidak terlampau banyak campur tangan manusia dalam pembentukannya dan lebih menggunakan kondisi alam yang ada. Koridor alami, dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu

- (a) koridor linear (*linear corridor*)
- (b) koridor serupa batu pijakan (*stepping stone corridor*)
- (c) koridor bentang alam (*landscape corridor*)

2.8.2. Koridor Buatan (*artificial*)

Koridor buatan merupakan koridor yang dalam pembentukannya terdapat peran manusia yang besar. Beberapa koridor buatan yang biasa digunakan yaitu, terowongan bawah tanah, jembatan, kanopi penghubung yang menghubungkan dua sisi habitat yang terpisah oleh jalan raya, sungai, dan lainnya.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam, penetapan koridor hidupan liar bertujuan untuk mencegah terjadinya konflik kepentingan antara manusia dan hidupan liar serta memudahkan pergerakan hidupan liar sesuai daerah jelajah dari suatu area ke area lain. Menurut Pedoman Penentuan Koridor Hidupan Liar Sebagai Ekosistem Esensial (2016) terdapat empat tipe koridor yaitu.

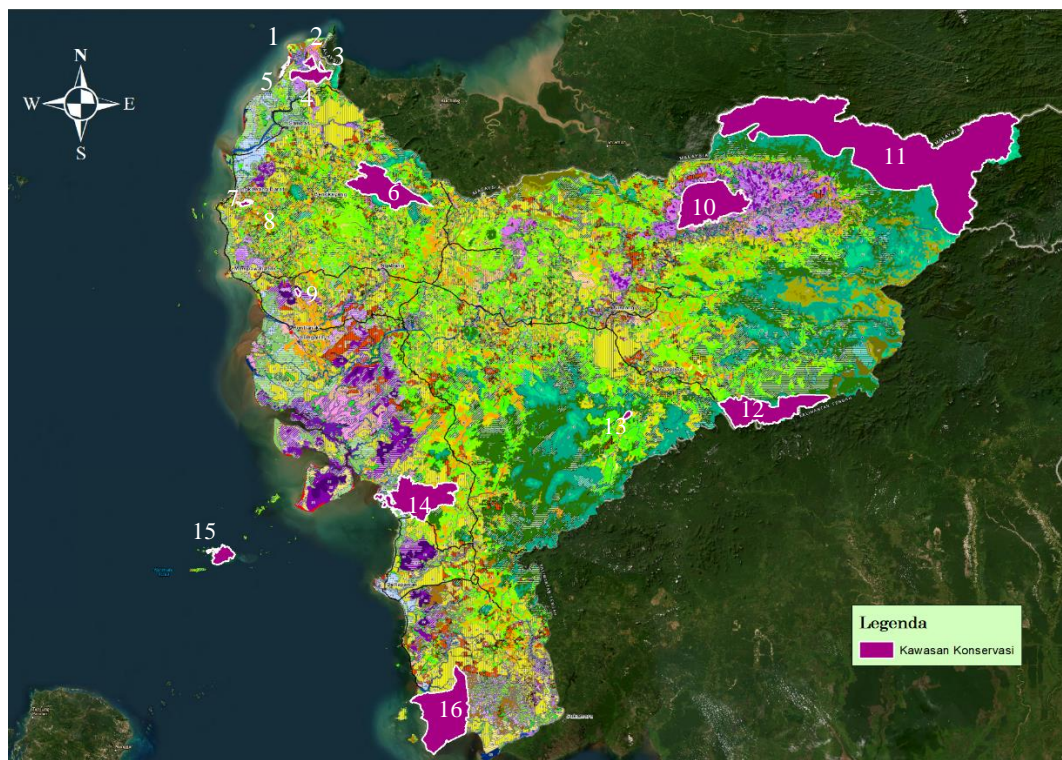
- (a) menghubungkan antar kawasan konservasi
- (b) menghubungkan antar ekosistem penting
- (c) menghubungkan ekosistem penting dengan kawasan konservasi
- (d) menghubungkan ekosistem penting dengan kawasan lindung (hutan lindung dan hutan konservasi).

BAB III

MASALAH SUBGRAF TERHUBUNG

3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini adalah peta jaringan kawasan konservasi diperoleh dari BPKHTL Kalimantan Barat, peta vegetasi yang diperoleh dari *webstie* esri Argis, 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. Studi literatur yaitu penelusuran pustaka dari literatur-literatur yang berhubungan dengan penelitian ini. Data yang diperoleh berupa peta 16 kawasan konservasi dari BPKHTL dan 12 spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi yang diperoleh dari studi literatur. Peta kawasan konservasi Kalimantan Barat diberikan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Peta kawasan konservasi Kalimantan Barat
Sumber: BPKHTL (Badan Pemantapan Kawasan Hutan dan Tata Lingkungan) dan *website* Esri
Arcgis Online

Tabel 3. 1 Kawasan konservasi

No	Kawasan Konservasi	Simpul
1	Tanjung Belimbing	v_1
2	Gunung Asuansang	v_2
3	Gunung Dungan	v_3
4	Gunung Melintang	v_4
5	Gunung Liku	v_5
6	Nyiut Penrissen	v_6
7	Gunung Raya Pasi	v_7
8	Lo Pat Fon Pi	v_8
9	Sungai Mandor	v_9
10	Danau Sentarum	v_{10}
11	Betung Kerihun	v_{11}
12	Bukit Baka Batu Raya	v_{12}
13	Bukit Baning	v_{13}
14	Gunung Palung	v_{14}
15	Pulau Karimata	v_{15}
16	Muara Kendawangan	v_{16}

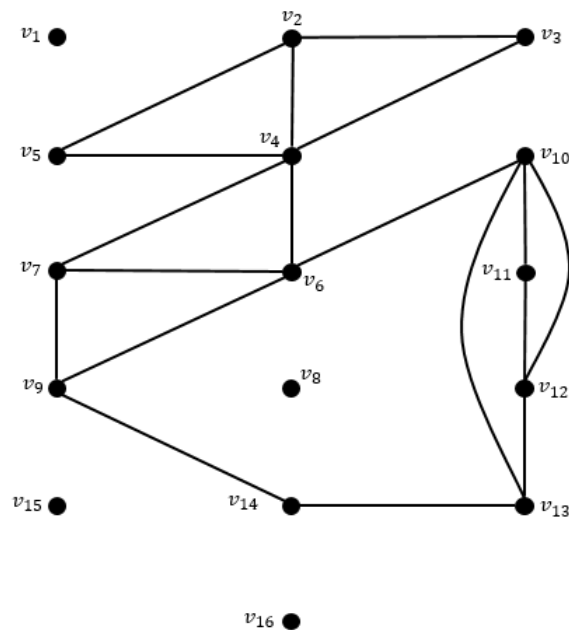
Tabel 3. 2 Spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi

No	Satwa Liar	Variabel
1	Orangutan Borneo	b_1
2	Klempiau/Owa	b_2
3	Bekantan	b_3
4	Rusa	b_4
5	Kancil	b_5
6	Trenggiling	b_6
7	Kijang	b_7
8	Musang Air	b_8
9	Kukang	b_9
10	Beruang Madu	b_{10}
11	Lutung Merah	b_{11}
12	Burung Enggang Gading	b_{12}

Sumber: Diambil dari Maulana. Y. 2014, "Taman Satwa Kalimantan Barat" *Jurnal online mahasiswa Arsitektur Universitas Tanjungpura*, 2(1), 103-118, diakses dari dishutbun.kayongutarakab.go.id.

3.2 Representasi Kawasan Konservasi ke dalam Graf

Kalimantan Barat memiliki 16 kawasan konservasi yang tersebar di beberapa kabupaten/kota di Kalimantan Barat. Jaringan tersebut direpresentasikan ke dalam graf dimana kawasan konservasi direpresentasikan sebagai simpul didefinisikan v_i dengan $i = 1, 2, 3, \dots, 16$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1, 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 apabila terdapat hutan atau vegetasi yang memungkinkan pergerakan satwa liar di antara kedua kawasan tersebut yang mana vegetasi tersebut dapat mendukung kebutuhan perlindungan dan sumber pangan satwa liar. Sebaliknya, dua kawasan dikatakan tidak terhubung terdapat vegetasi tidak memungkinkan pergerakan satwa liar antar kawasan, terutama jika ada penghalang besar seperti, pemukiman yang padat, maupun perkotaan. Selain itu, jarak *euclidean* antara kedua kawasan tidak lebih dari 200 km, karena jarak lebih dari 200 km dianggap terlalu jauh untuk pergerakan spesies. Representasi kawasan konservasi diberikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Graf Representasi Peta Kawasan Konservasi

Selanjutnya, dibentuk himpunan U yang terdiri dari spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi. Elemen-elemen spesies ini dinotasikan dengan b_k , dimana $k = 1, 2, 3, \dots, 12$ mewakili masing-masing spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi. Data satwa liar tersebut disajikan pada Tabel 3.2, dengan demikian, 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 terdapat keberadaannya di kawasan tersebut, yang merupakan himpunan bagian dari U , yaitu $S_i \subseteq U$. Dari definisi tersebut disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 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: Buku Potret Hutan Provinsi Kalimantan Barat, Buku Informasi 521 Kawasan Konservasi, dan situs resmi lainnya.

Dari Tabel 3.3, dapat dilihat bahwa terdapat 16 kawasan konservasi di Kalimantan Barat, yang masing-masing diidentifikasi sebagai v_i untuk $i = 1, 2, \dots, 16$. Setiap kawasan v_i memiliki himpunan spesies satwa liar yang ditunjukkan sebagai S_i , yang merupakan himpunan bagian dari himpunan U , dimana himpunan U berisi himpunan satwa dilindungi khas Kalimantan Barat.

3.3 Masalah Subgraf Terhubung dalam Konektivitas Satwa Liar

Koridor hidupan liar adalah areal atau jalur bervegetasi yang cukup lebar, baik alami maupun buatan yang menghubungkan dua atau lebih habitat atau kawasan konservasi atau ruang terbuka dan sumberdaya alam lainnya, yang memungkinkan terjadinya pergerakan satwa atau pertukaran individu antar populasi satwa. Pergerakan ini didorong oleh naluri alamiah satwa liar untuk memenuhi kebutuhan pakan dan untuk berkembang biak.

Diberikan peta kawasan konservasi yang direpresentasikan sebagai graf $G = (V(G), E(G))$ dengan $v_i \in V(G)$ untuk $i = 1, 2, \dots, 16$ merupakan himpunan simpul yang merepresentasikan setiap kawasan konservasi dan $e_{i,j} = (v_i, v_j) \in E(G)$ yang merepresentasikan jalan yang menghubungkan dua kawasan konservasi. Kemudian diberikan himpunan spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi $U = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$, untuk setiap kawasan $v_i \in V(G)$, terdapat himpunan spesies satwa liar S_i yang merupakan himpunan spesies satwa liar yang terdapat di kawasan konservasi v_i , dimana $S_i \subseteq U$. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan subgraf terhubung $G' = (V(G'), E(G'))$ sedemikian sehingga gabungan himpunan spesies satwa liar yang terdapat pada simpul dalam subgraf tersebut yaitu $\bigcup_{v_i \in V(G')} S_i$, mencakup seluruh elemen dalam himpunan U , yaitu $\bigcup_{v_i \in V(G')} S_i = U$.

Untuk menyelesaikan permasalahan ini tentunya memerlukan langkah agar lebih terstruktur dan jelas, oleh karena itu perlunya algoritma untuk menentukan subgraf terhubung yang mencakup himpunan spesies satwa liar Khas Kalimantan Barat yang dilindungi. Dalam pendekatan heuristik yang digunakan, setiap simpul dalam graf dipertimbangkan sebagai calon potensial untuk menjadi simpul awal dalam pencarian subgraf terhubung. Dengan cara ini, dicoba semua simpul yang ada dalam graf sebagai simpul awal untuk membentuk subgraf yang memenuhi kriteria cakupan satwa liar yang diinginkan. Berikut adalah algoritma untuk menentukan subgraf terhubung yang mencakup himpunan spesies satwa liar Khas Kalimantan Barat yang dilindungi.

Didefinisikan subgraf $G'_{v_s} = (V(G'_{v_s}), E(G'_{v_s}))$ merupakan subgraf yang dibentuk selama pencarian subgraf dengan simpul awal v_s .

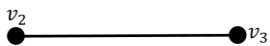
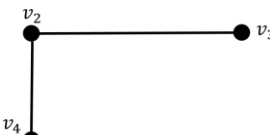
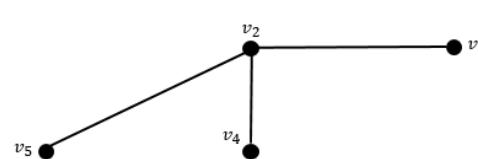
- L1. Menentukan simpul $v_i \in V(G)$ sebagai simpul awal v_s .
- L2. Inisialisasi $G'_{v_s} = (V(G'_{v_s}), E(G'_{v_s}))$, sebagai subgraf dengan simpul awal $v_s \in V(G)$ dan $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_s})} S_i$ yaitu cakupan yang merupakan gabungan dari himpunan S_i yang terdapat pada simpul $v_i \in V(G'_{v_s})$.
- L3. Perbarui subgraf, dengan menambahkan simpul awal v_s ke himpunan simpul $V(G'_{v_s})$ pada subgraf G'_{v_s} .
- L4. 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 L1.
 - ii. Kemudian, perbarui subgraf dengan menambahkan simpul-simpul berjarak k dari simpul awal beserta sisi-sisi yang menghubungkannya ke simpul dalam subgraf.
 - iii. Periksa cakupan yang dicakup dari subgraf tersebut. Jika sudah mencakup lanjutkan ke langkah L5., jika belum mencakup maka ulangi langkah L4.i dengan memperbarui jarak $k = k + 1$.
- L5. Bentuk subgraf terinduksi dari subgraf yang diperoleh dari hasil eksplorasi.
- L6. Lakukan *pruning* dimulai dari simpul yang terakhir diproses atau ditambahkan ke subgraf. Lakukan *pruning* sehingga tidak ada lagi simpul yang bisa dihapus.

3.4 Penerapan Teori Graf dalam Masalah Subgraf Terhubung

Pada bagian ini, langkah-langkah yang telah dijelaskan pada subbab 3.3 dalam penelitian ini akan diterapkan. Pada langkah pertama dalam menentukan simpul awal, simpul v_2 dipilih sebagai simpul awal karena simpul v_1 merupakan simpul terpencil tanpa tetangga, sehingga tidak memungkinkan untuk digunakan sebagai simpul awal.

- L1. Pilih simpul $v_2 \in V(G)$ sebagai simpul awal v_s .
- L2. Inisialisasi $G'_{v_2} = (V(G'_{v_2}), E(G'_{v_2}))$, 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 $v_i \in V(G'_{v_2})$.
- L3. Perbarui subgraf, dengan menambahkan simpul awal v_2 ke dalam subgraf G'_{v_2} , maka $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = S_2 = \{b_2, b_4, b_6\}$. Karena koridor menghubungkan minimal dua kawasan, proses akan dilanjutkan dengan melakukan eksplorasi subgraf
- L4. Melakukan eksplorasi subgraf.
- Himpunan tetangga dengan jarak $k = 1$ dari simpul awal v_2 yaitu $N_1(v_2) = \{v_3, v_4, v_5\}$.
 - Kemudian, perbarui subgraf dengan menambahkan simpul-simpul berjarak k dari simpul awal beserta sisi-sisi yang menghubungkannya ke simpul dalam subgraf G'_{v_2} .

Tabel 3. 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	$\{\}$	

Diperoleh untuk $G'_{v_2} = (\{v_2, v_3, v_4, v_5\}, \{e_{2,3}, e_{2,4}, e_{2,5}\})$ bahwa $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = \{b_2, b_4, b_6, b_{10}, b_{11}\} \neq U$. Karena cakupan belum memenuhi

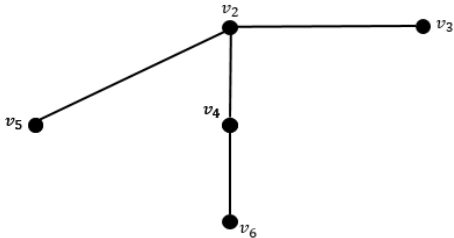
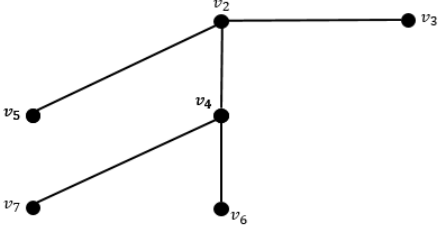
maka akan dilakukan iterasi kedua. Proses iterasi akan dilanjutkan sampai ditemukan G'_{v_2} , dimana $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = U$.

- (iii) Karena cakupan belum memenuhi maka akan dilakukan iterasi kedua. Proses iterasi akan dilanjutkan memperbarui jarak $k = k + 1$ sampai ditemukan G'_{v_2} , dimana $\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = U$.

Iterasi ke-2

Pada iterasi kedua, dilanjutkan dengan mencari tetangga dengan jarak $k = k + 1$ dari simpul awal v_1 , yaitu $N_{k+1}(v_s) = N_2(v_1) = \{v_6, v_7\}$.

Tabel 3. 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	$\{v_9\}$	

Diperoleh untuk $G'_{v_2} = (\{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}, \{e_{2,3}, e_{2,4}, e_{2,5}, e_{4,6}, e_{4,7}\})$ maka cakupan

$$\bigcup_{v_i \in V(G'_{v_2})} S_i = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\} = U$$

Langkah selanjutnya, untuk menjamin konektivitas antara simpul-simpul pada subgraf yang terbentuk sesuai dengan graf G , maka subgraf G'_{v_2} yang diperoleh dalam bentuk pohon akan dibentuk menjadi subgraf terinduksi.

- L5. Diberikan sebuah subgraf G'_{v_2} dari graf G . Subgraf G'_{v_2} memiliki himpunan simpul $V(G'_{v_2})$ dan himpunan sisi $E(G'_{v_2})$. Untuk membentuk subgraf

terinduksi berdasarkan simpul-simpul yang ada di subgraf G'_{v_2} , akan ditentukan himpunan simpul dan himpunan sisi subgraf tersebut. Himpunan simpul dari subgraf terinduksi $G[V(G'_{v_2})]$, adalah sama dengan himpunan simpul dari subgraf G'_{v_2} , yaitu

$$V(G'_{v_2}) = \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}$$

Selanjutnya, ambil semua sisi dari $E(G)$ yang menghubungkan pasangan simpul dalam subgraf G'_{v_2} . Himpunan sisi subgraf terinduksi sebagai berikut

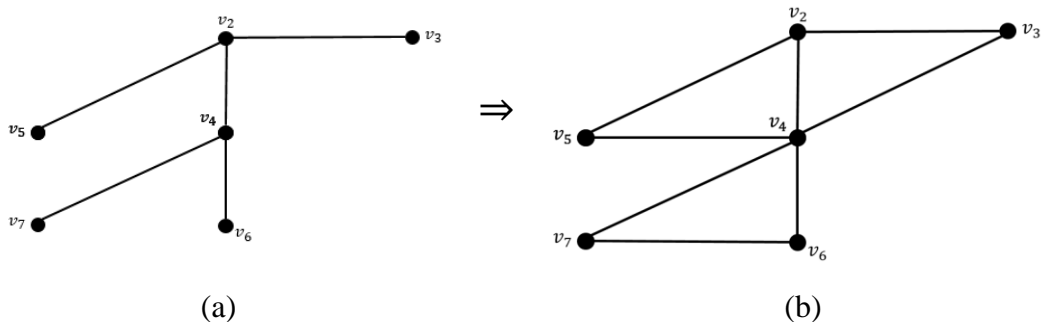
$$E(G[V(G'_{v_2})]) = \{e_{i,j} \in E(G) : \text{terdapat sisi yang terhubung di } V(G'_{v_2})\}$$

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

Sehingga dari himpunan simpul $V(G')$ dan himpunan sisi $E(G')$ yang telah ditentukan, subgraf terinduksi $G[V(G')]$ dapat ditulis sebagai

$$G[V(G'_{v_2})] = (V(G'_{v_2}), E(G[V(G'_{v_2})]))$$

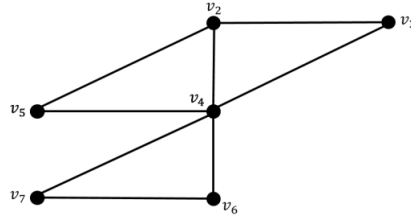
$$G[V(G'_{v_2})] = (\{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}, \{e_{2,3}, e_{2,4}, e_{2,5}, e_{3,4}, e_{4,5}, e_{4,6}, e_{4,7}, e_{6,7}\})$$



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

Setelah mendapatkan bentuk subgraf terinduksi dari subgraf yang diperoleh sebelumnya, langkah selanjutnya adalah melakukan *pruning* (pemangkasan) untuk menghapus simpul yang tidak memberikan kontribusi terhadap cakupan spesies untuk $\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})])} S_i$.

- L6. Akan dilakukan *pruning* penghapusan simpul dimulai dari simpul yang terakhir ditambahkan ke subgraf.



Gambar 3. 4 Subgraf terinduksi $G[V(G'_{v_2})]$

Pertama ambil v_7 dan hapus sementara, maka $G[V(G'_{v_2})] - \{v_7\}$, maka cakupan.

$$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})] - \{v_7\})} S_i \neq \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$$

Karena cakupan berubah menjadi $\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})] - \{v_7\})} S_i \neq U$. Maka v_7 tidak bisa dihapus. Kemudian ambil v_6 , maka $G[V(G'_{v_2})] - \{v_6\}$, maka diperoleh

$$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})] - \{v_6\})} S_i \neq \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_{10}, b_{12}\}$$

Karena cakupan berubah $\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})] - \{v_6\})} S_i \neq U$. Maka v_6 tidak bisa dihapus. Kemudian ambil v_3 , maka $G[V(G'_{v_2})] - \{v_3\}$, maka diperoleh

$$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})] - \{v_3\})} S_i = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$$

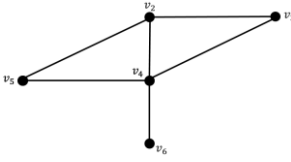
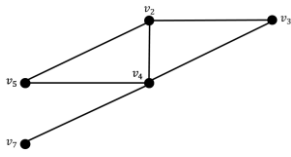
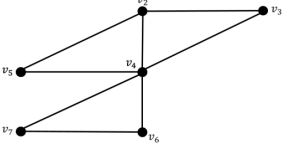
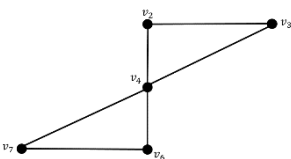
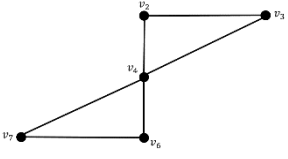
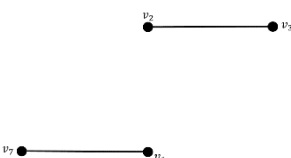
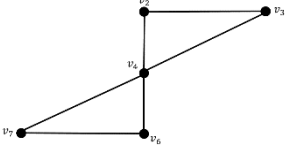

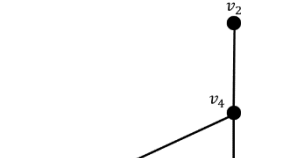
Maka v_3 bisa dihapus. Lalu untuk v_4 , tidak bisa dihapus karena akan menyebabkan simpul potensial v_1 tidak terhubung dengan v_6 dan v_7 dimana simpul ini tidak bisa dihapus karena berperan terhadap cakupan. Maka diperoleh subgraf setelah dilakukan *pruning*.

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

$$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})])} S_i = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9, b_{10}, b_{11}, b_{12}\}$$

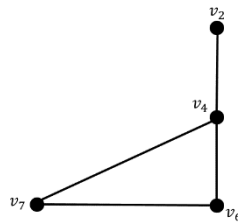
Tabel 3. 6 *Pruning* (Pemangkasan)

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang 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	

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_2})])} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf
						
2	v_2, v_3, v_4, v_5, v_6	v_6	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in (G[V(G'_{v_2})] - \{v_6\})} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
3	v_2, v_3, v_4, v_5	v_5	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_5\}$ 	$\bigcup_{v_i \in (G[V(G'_{v_2})] - \{v_5\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_1})] = G[V(G'_{v_1})] - \{v_3\}$ 
4	v_2, v_3, v_4	v_4	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_4\}$ 	$\bigcup_{v_i \in (G[V(G'_{v_2})] - \{v_4\})} S_i = U$ tetapi memutus konektivitas, dengan kata lain v_4 merupakan <i>cut vertex</i>	Tidak dihapus	
5	v_2, v_3	v_3	$G[V(G'_{v_2})] - \{v_3\}$ 	$\bigcup_{v_i \in (G[V(G'_{v_2})] - \{v_3\})} S_i = U$	Hapus permanen	

Dari proses *pruning* yang dilakukan, terdapat beberapa simpul yang dihapus karena tidak memberikan kontribusi terhadap cakupan maupun konektivitas atau keterhubungan antara simpul. Sehingga diperoleh subgraf hasil *pruning* dari subgraf terinduksi dari diberikan pada Gambar 3.5.

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



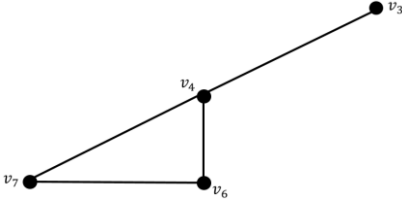
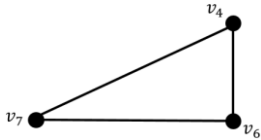
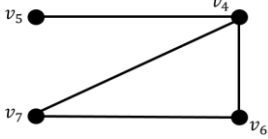
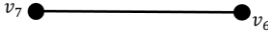

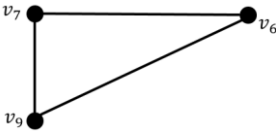
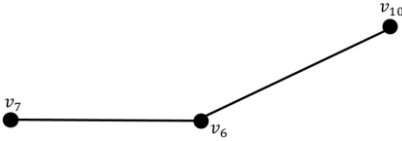
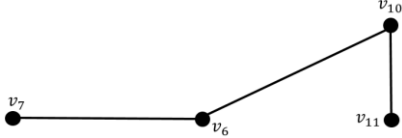
Gambar 3. 5 Hasil *pruning* subgraf terinduksi $G[V(G'_{v_2})]$

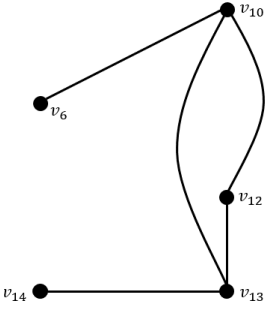
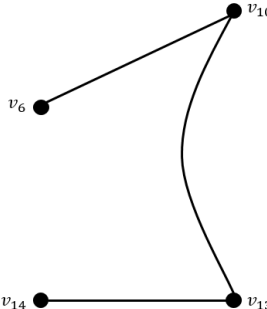
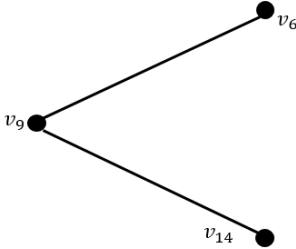
Dari hasil *pruning* subgraf terinduksi tersebut diperoleh pohon merentang yang merupakan subgraf terhubung yang mencakup semua spesies satwa liar khas Kalimantan Barat. Diperoleh tiga subgraf terhubung berbentuk pohon yang mencakup semua spesies satwa liar khas Kalimantan Barat yang dilindungi. Dalam hal ini jika kawasan konservasi Gunung Asuansang (v_2) sebagai kawasan potensial, maka kawasan terhubung yang memenuhi yaitu keterhubungan dan cakupan yaitu, Gunung Melintang (v_4), Nyiut Penrissen (v_6), dan Gunung Raya Pasi (v_7).

Untuk pencarian dengan simpul awal lainnya, proses pencarian dilakukan dengan langkah-langkah yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Oleh karena itu, pada bagian ini, hasilnya yang akan disajikan tanpa penjelasan ulang mengenai langkah-langkahnya, karena proses tersebut secara umum sama dengan yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 3. 7 Hasil pencarian subgraf terhubung mencakup elemen himpunan U

No	Simpul awal	Kawasan potensial	Subgraf terhubung mencakup elemen himpunan U	Kawasan terhubung mencakup spesies
1	v_1	Tanjung Belimbing	Tidak ada	Tidak ada
2	v_2	Gunung Asuansang		Gunung Asuansang-Gunung Melintang-Nyiut Penrissen-Gunung Raya Pasi

No	Simpul awal	Kawasan potensial	Subgraf terhubung mencakup elemen himpunan U	Kawasan terhubung mencakup spesies
3	v_3	Gunung Dungan		Gunung Dungan-Gunung Melintang-Nyiut Penrissen-Gunung Raya Pasi
4	v_4	Gunung Melintang		Gunung Melintang-Nyiut Penrissen-Gunung Raya Pasi
5	v_5	Gunung Liku		Gunung Liku- Gunung Melintang-Nyiut Penrissen-Gunung Raya Pasi
6	v_6	Nyiut Penrissen		Nyiut Penrissen-Gunung Raya Pasi
7	v_7	Gunung Raya Pasi		Gunung Raya Pasi-Nyiut Penrissen
8	v_8	Lo Pat Fon Pi	Tidak ada	Tidak ada
9	v_9	Sungai Mandor		Sungai Mandor-Gunung Raya Pasi-Nyiut Penrissen
10	v_{10}	Danau Sentarum		Danau Sentarum-Nyiut Penrissen-Gunung Raya Pasi
11	v_{11}	Betung Kerihun		Betung Kerihun-Danau Sentarum-Nyiut Penrissen-Gunung Raya Pasi

No	Simpul awal	Kawasan potensial	Subgraf terhubung mencakup elemen himpunan U	Kawasan terhubung mencakup spesies
12	v_{12}	Bukit Baka Batu Raya		Bukit Baka Batu Raya-Betung Kerihun - Nyiut Penrissen-Gunung Raya Pasi
13	v_{13}	Bukit Baning		Bukit Baning-Gunung Paling-Sungai Mandor-Nyiut Penrissen
14	v_{14}	Gunung Palung		Gunung Palung –Sungai Mandor -Nyiut Penrissen
15	v_{15}	Pulau Karimata	Tidak ada	Tidak ada
16	v_{16}	Muara Kendawangan	Tidak ada	Tidak ada

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Peta kawasan konservasi di Kalimantan Barat telah direpresentasikan sebagai sebuah graf. Terdapat 16 simpul merepresentasikan kawasan-kawasan penting bagi satwa liar, dan sisi merepresentasikan kemungkinan jalur vegetasi atau koridor yang menghubungkan habitat satwa liar tersebut.

Penelitian ini menerapkan teori graf untuk menemukan subgraf terhubung yang mencakup spesies satwa liar khas Kalimantan Barat menggunakan metode heuristik. Dimulai dengan mengeksplorasi subgraf, diikuti pemeriksaan cakupan untuk memastikan semua spesies tercakup hingga cakupan tercapai. Lalu, subgraf terinduksi dibentuk dan dilakukan pemangkasan untuk menghapus simpul yang tidak diperlukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, ditemukan subgraf yang menghubungkan kawasan konservasi dimana semua spesies satwa liar yang dilindungi di Kalimantan Barat tercakup. Dari penelitian ini, secara heuristik didapatkan kawasan-kawasan (koridor) terhubung yang mencakup spesies satwa khas Kalimantan Barat yang dilindungi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.7

4.2 Saran

Dalam pembentukan koridor hidupan liar, penelitian ini menghubungkan kawasan konservasi yang dalam kondisi nyata memiliki jarak yang cukup jauh akan sulit untuk diimplementasikan. Dalam hal ini, peneliti menyarankan penelitian selanjutnya difokuskan pada satu kawasan tertentu yang menghubungkan beberapa habitat, memberikan ruang bagi analisis yang lebih mendalam terhadap tantangan konektivitas habitat di kawasan tersebut. Dengan begitu, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat yang lebih aplikatif, khususnya dalam mendukung perencanaan koridor satwa liar dan pelestarian keanekaragaman hayati di kawasan konservasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmoko, T., Sudiono, E., Rifqi, A. M., & Dharma, P. A. (2021). *Praktik Terbaik Pengelolaan Habitat Satwa Terancam Punah dalam Skala Bentang Alam* (Nomor June).
- Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah III Pontianak. (2016). *Potret Hutan Provinsi Kalimantan Barat* (Nomor 0).
- Balai Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya (TNBBBR). (n.d.). Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem. <https://ksdae.menlhk.go.id/album/14/62>
- Billionnet, A. (2012). Designing an optimal connected nature reserve. *Applied Mathematical Modelling*, 36(5), 2213–2223. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.08.002>
- Bollobás, B. (1998). Modern Graph Theory. In *Journal of the American Statistical Association* (Vol. 95, Nomor 452). <https://doi.org/10.2307/2669801>
- 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 Hove, 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>
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009). Introduction to Algorithms Third Edition. In *Bioinformatics: A Concept-Based Introduction*. https://doi.org/10.1007/978-0-387-84870-9_3
- Diestel, R. (n.d.). *Graph Theory, 5th edition 2017*.
- Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem. (2016). *Pedoman penentuan koridor hidupan liar sebagai ekosistem esensial*.
- Earthworm Foundation. (2017). *Perlindungan Koridor Satwa Liar (Preserve Wildlife Corridors)*.
- Esri. (n.d.). *ArcGis Online*. <https://www.arcgis.com/>
- Foulds, L. R. (1995). *Graph Theory Applications* (Nomor 0).
- Gunung Nyiut Penrissen. (n.d.). Digital Observatory for Protected Areas (DOPA). <https://dopa-explorer.jrc.ec.europa.eu/wdpa/62495>
- 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.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Klhk. In *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*.
https://ksdae.menlhk.go.id/assets/news/peraturan/Perdirjen_P.1_KSDAE_BP_E2_KSA.4_2_2021.pdf

Kleinberg, J., & Tardos, E. (2005). *Algorithm Design*.

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

Munir, R. (2010). *Matematika Diskrit*. Informatika Bandung.

Orangutan di Gunung Palung. (n.d.). Yayasan Palung.
<https://yayasanpalung.com/orangutan-di-gunung-palung/>

Sembiring, S. N. dkk. (1997). Kajian Hukum dan Kebijakan Pengelolaan Kawasan Konservasi di Indonesia, Menuju Pengembangan Desentralisasi dan Peningkatan Peranserta Masyarakat. *Lembaga Pengembangan Hukum Lingkungan Indonesia dan Natural Resources Management Program*, 177.

Silver, E. A., Victor, R., Vidal, V., & de Werra, D. (1980). A tutorial on heuristic methods. *European Journal of Operational Research*, 5(3), 153–162.
[https://doi.org/10.1016/0377-2217\(80\)90084-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(80)90084-3)

Taman Nasional Danau Sentarum (TNDS). (n.d.). Pemerintah Kabupaten Kapuas Hulu. <https://www.kapuashulukab.go.id/home/page/taman-nasional>

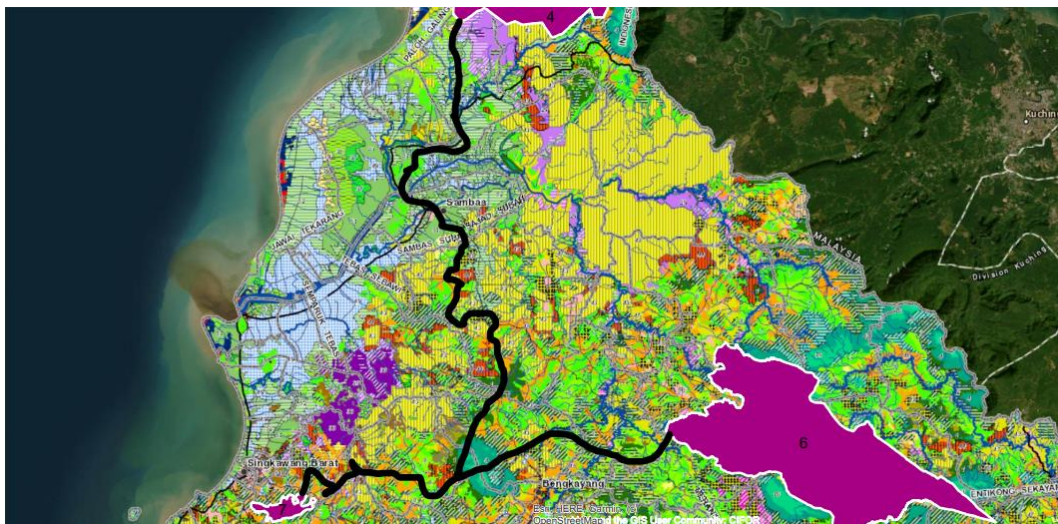
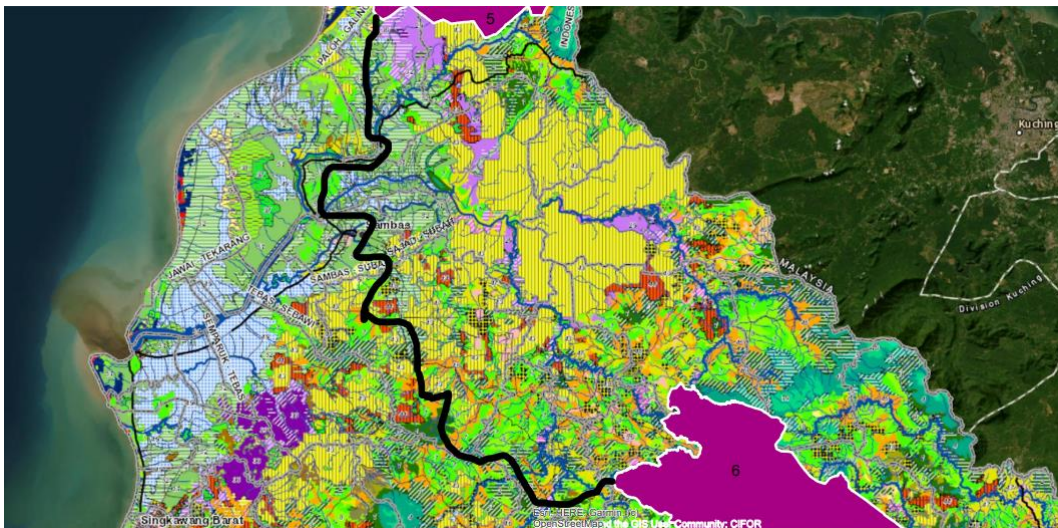
Wang, Y., Qin, P., Li, S., & Önal, H. (2023). Optimal configuration of a wildlife corridor system. *Global Ecology and Conservation*, 46(April).
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02560>

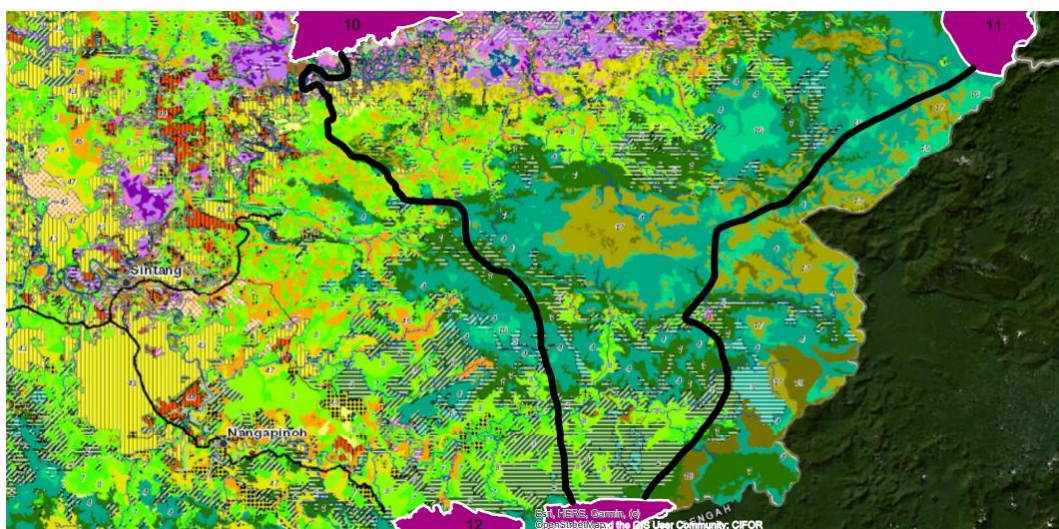
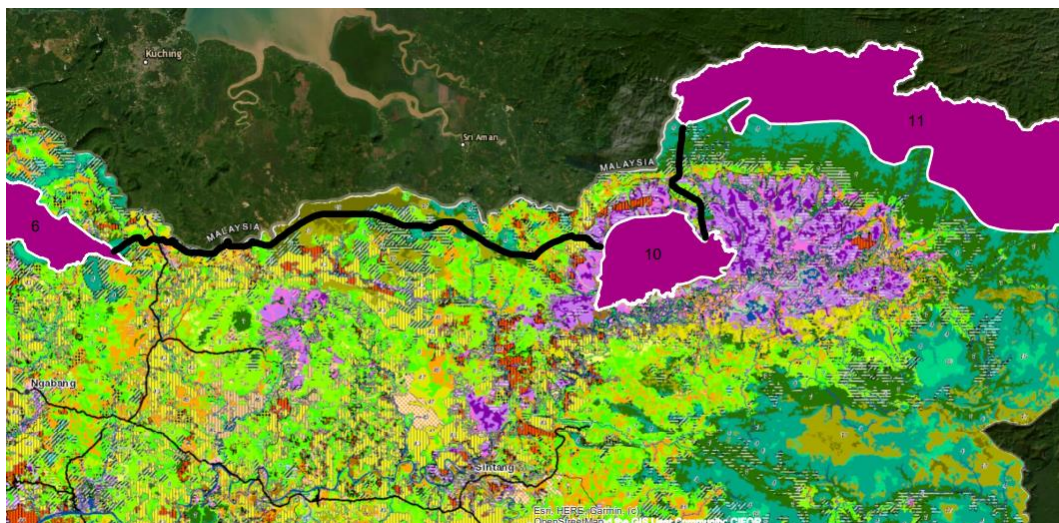
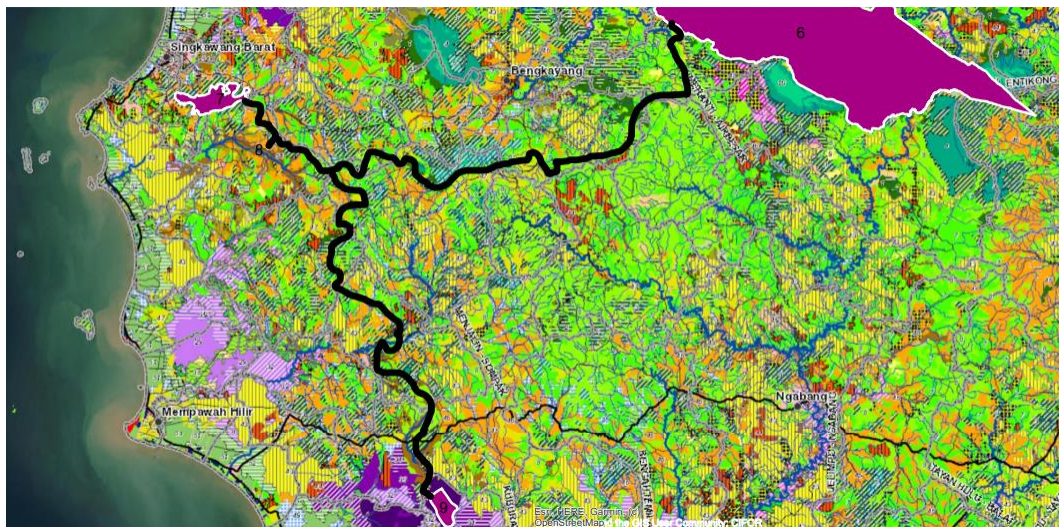
Wilson, R. (2010). *Pengantar Teori Graf Edisi Kelima*. Erlangga.

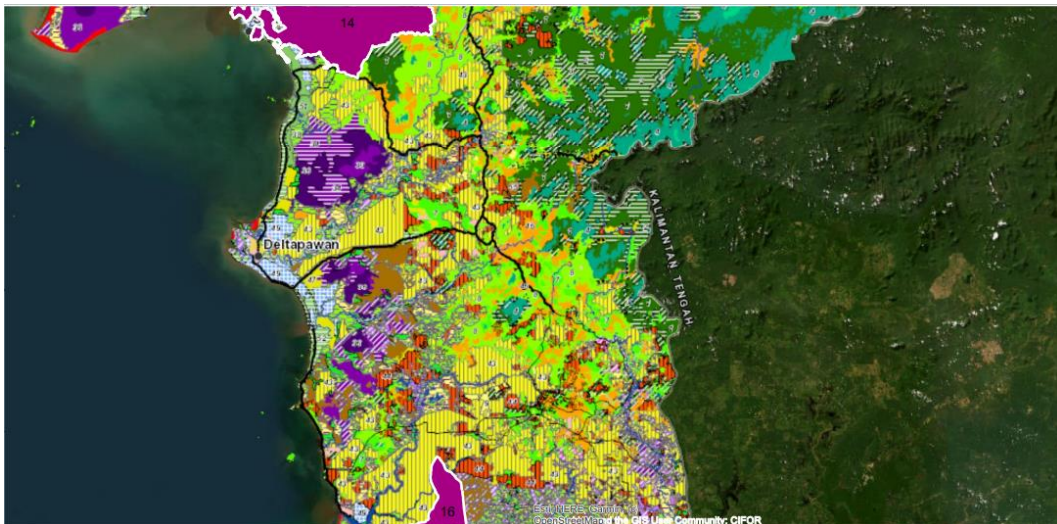
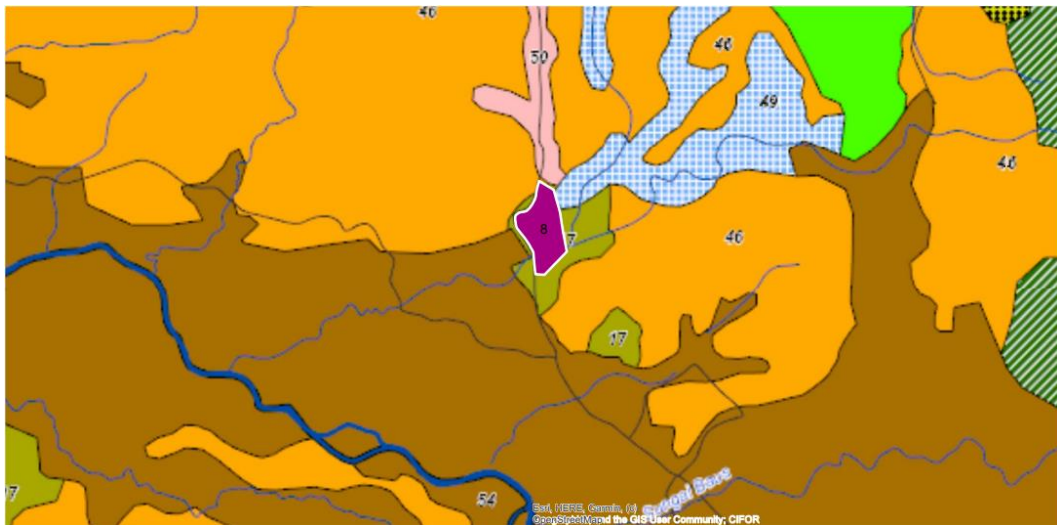
Zhang, M., Yu, X., Rong, J., & Ou, L. (n.d.). *Graph pruning for model compression*. *Applied Intelligence*. 52(10), 11244–11256.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta kawasan konservasi untuk menemukan keterhubungan antara kawasan konservasi.





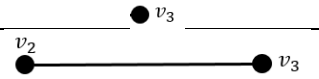
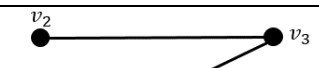

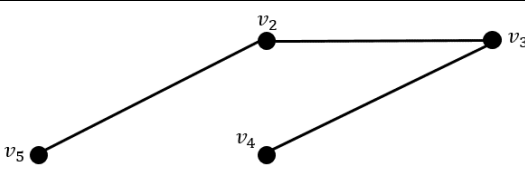
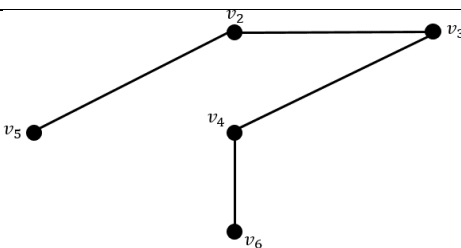
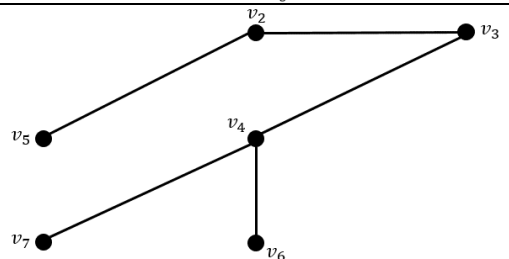


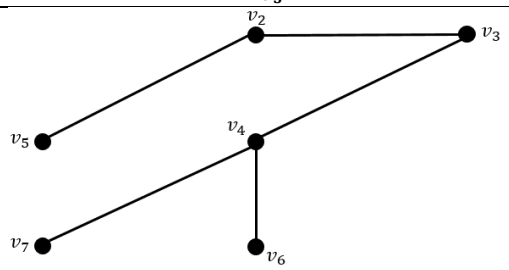
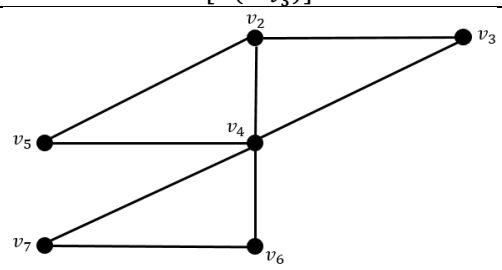
Vegetasi yang memungkinkan pergerakan satwa	Vegetasi yang tidak memungkinkan
[1] Hutan dataran rendah (< 300 m) [2] Hutan dataran rendah bekas tebangan [3] Mosaik hutan sekunder tua yang sudah berumput [4] Hutan bukit (300-800 m) [5] Hutan bukit bekas tebangan [6] Mosaik hutan sekunder bukit [7] Mosaik hutan sekunder muda yang sudah berumput (< 1000 m) [8] Semak belukar dan pertumbuhan kembali yang rendah (< 1000 m) [10] Hutan submontana (800-1300 m) [13] Hutan montana bawah (1300-1800 m) [13] [14] Hutan montana atas (> 1800 m)	[9] Padang rumput/Padang paku-pakuan (< 1000 m) [11] Hutan submontana yang rusak [12] Hutan submontana yang sangat rusak (longsor) [16] Padang rumput/Padang paku-pakuan (> 1000 m) [28] Hutan rawa air tawar yang rusak [32] Hutan rawa gambut campuran yang sangat rusak [34] Hutan rawa gambut yang rusak [35] Hutan rawa gambut yang sangat rusak (terbuka) [39] Padang rumput rawa

Vegetasi yang memungkinkan pergerakan satwa	Vegetasi yang tidak memungkinkan
[15] Hutan sekunder tumbuh kembali (Belukar) (> 1000 m) [17] Hutan tinggi di atas batu pasir (Kerangas) [18] Hutan pendek di atas batu pasir (Kerangas) [19] Semak belukar di atas batu pasir (Kerangas) [21] Hutan kerapah tinggi [22] Hutan kerapah sekunder [23] Hutan kerapah rendah [24] Hutan riparian (tepi sungai) [25] Hutan rawa air tawar [26] Hutan rawa air tawar bekas tebanan [27] Mosaik hutan sekunder rawa air tawar [29] Hutan rawa gambut campuran [30] Hutan rawa gambut campuran bekas tebanan [31] Mosaik hutan sekunder rawa gambut campuran [33] Hutan rawa gambut [36] Hutan gambut dalam [37] Hutan sekunder tumbuh kembali di rawa (Belukar rawa) [38] Semak rawa [58] Hutan mangrove tinggi [59] Hutan mangrove rendah [60] Hutan mangrove belakang [61] Hutan mangrove belakang sekunder	[40] Hutan tanaman industri [41] Lahan baru terbuka [42] Lahan baru terbuka untuk hutan tanaman industri [43] Perkebunan kelapa sawit [44] Lahan baru terbuka untuk perkebunan kelapa sawit [45] Perkebunan karet [46] Kebun karet rakyat [47] Kebun campuran / agroforestry [48] Ladang tanaman pangan (Peladangan) [49] Sawah beririgasi [50] Permukiman [51] Kebun kelapa [52] Kebun kelapa campuran [53] Tanah terbuka (area tambang) [54] Tanah terbuka / pasir terbuka [55] Tanah terbuka / lahan terbuka [56] Tanah terbuka (musim kemarau Danau Sentarum) [57] Batu terbuka [62] Pantai [63] Akuakultur / tambak udang [64] Air [65] Awan

Lampiran 2. Mencari subgraf terhubung mencakup elemen himpunan U untuk simpul lainnya.

Gunung Dungan

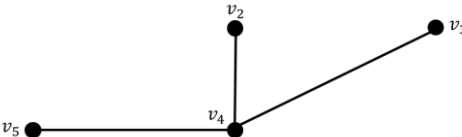
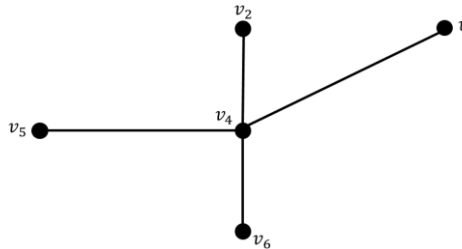
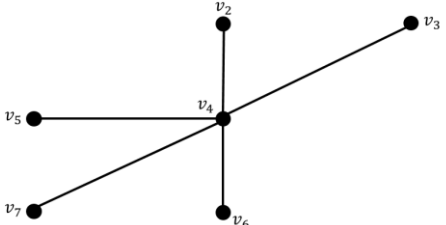
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui G'_{v_2}
0	-	v_3	$\{v_2, v_4\}$	
1	$\{v_2, v_4\}$	v_2	$\{v_5\}$	
		v_4	$\{v_5, v_6, v_7\}$	
2	$\{v_5, v_6, v_7\}$	v_5	-	
		v_6	$\{v_9, v_{10}\}$	
		v_7	-	

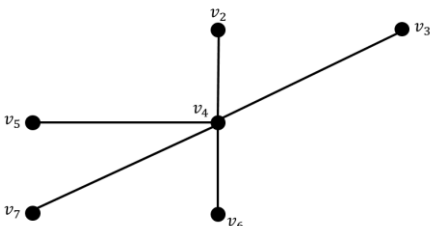
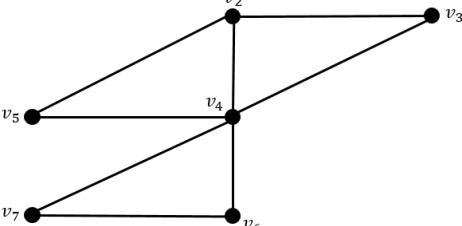
G'_{v_3}	$G[V(G'_{v_3})]$
	

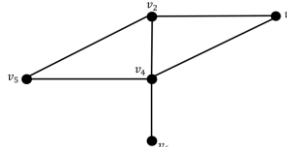
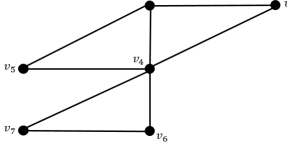
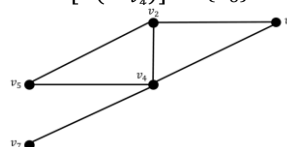
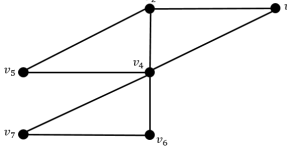
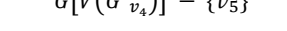
No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_3})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_3})]) - \{v_6\}} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_3})]$
1	$v_3, v_2, v_4, v_5, v_6, v_7$	v_7	$G[V(G'_{v_3})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_3})]) - \{v_6\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
2	v_3, v_2, v_4, v_5, v_6	v_6	$G[V(G'_{v_3})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_3})]) - \{v_6\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
3	v_3, v_2, v_4, v_5	v_5	$G[V(G'_{v_3})] - \{v_5\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_3})]) - \{v_5\}} S_i = U$	Hapus permanen	
4	v_3, v_2, v_4	v_5	$G[V(G'_{v_3})] - \{v_5\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_3})]) - \{v_5\}} S_i = U$ tetapi v_4 memutus konektivitas, dengan kata lain v_4 merupakan <i>cut vertex</i> , jadi v_4 tidak dapat dihapus	Tidak dihapus	$G[V(G'_{v_3})] = G[V(G'_{v_3})] - \{v_5\}$
5	v_3, v_2	v_2	$G[V(G'_{v_3})] - \{v_2\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_3})]) - \{v_2\}} S_i = U$	Hapus permanen	

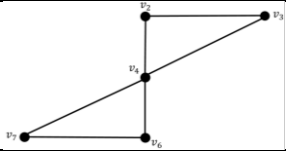
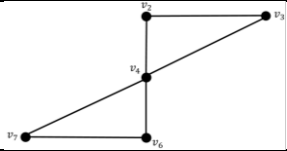
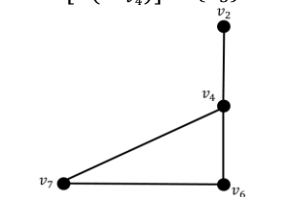
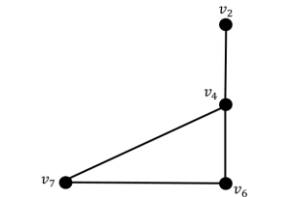
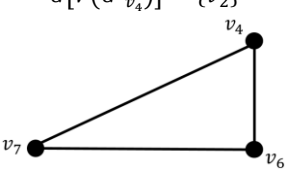
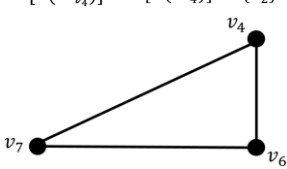
Gunung Melintang

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui G'_{v_2}
0	-	v_4	$\{v_2, v_3, v_5, v_6, v_7\}$	
1	$\{v_2, v_3, v_5, v_6, v_7\}$	v_2	-	
		v_3	-	


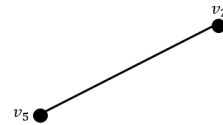
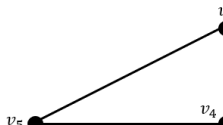
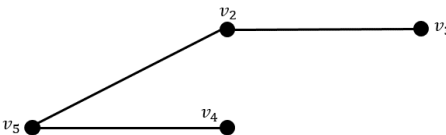
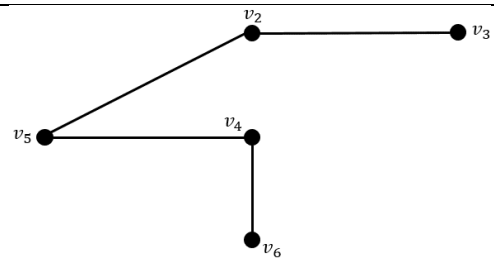
		v_5	-	
		v_6	$\{v_9, v_{10}\}$	
		v_7	$\{v_9\}$	

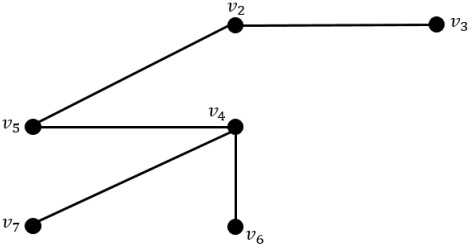
G'_{v_4}	$G[V(G'_{v_4})]$
	

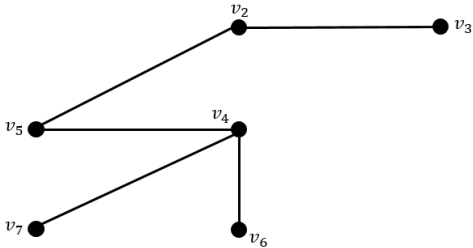
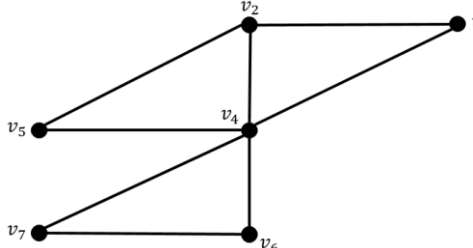
No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_4})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_4})]) - \{v_i\}} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_4})]$
1	$v_4, v_2, v_3,$ v_5, v_6, v_7	v_7	$G[V(G'_{v_4})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_4})]) - \{v_7\}}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

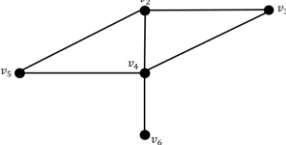
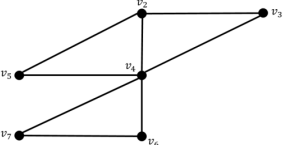
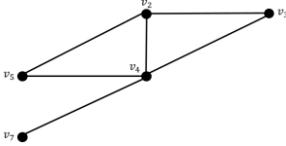
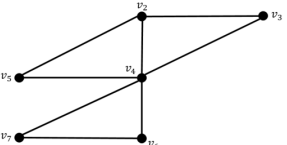
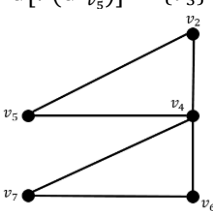
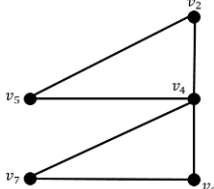
No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_4})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_4})])} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_4})]$
						
5	v_4, v_2, v_3	v_3	$G[V(G'_{v_4})] - \{v_3\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_4})] - \{v_3\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_4})] = G[V(G'_{v_4})] - \{v_3\}$ 
5	v_4, v_2	v_2	$G[V(G'_{v_4})] - \{v_2\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_4})] - \{v_2\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_4})] = G[V(G'_{v_4})] - \{v_2\}$ 

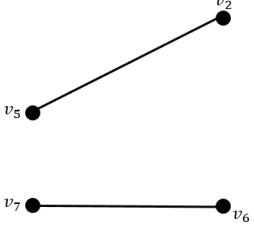
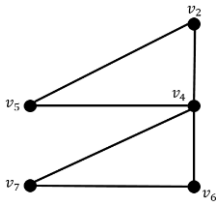
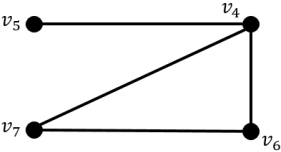
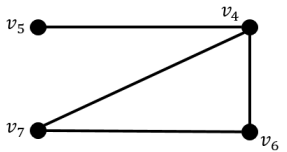
Gunung Liku

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses		Subgraf diperbarui G'_{v_5}
0	-	v_5	$\{v_2, v_4\}$	
1	$\{v_2, v_4\}$	v_2	$\{v_3\}$	
		v_4	$\{v_6, v_7\}$	
2	$\{v_3, v_6, v_7\}$	v_3	-	
		v_6	$\{v_9, v_{10}\}$	



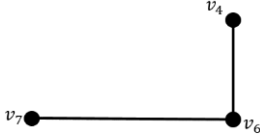
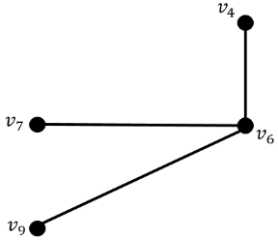
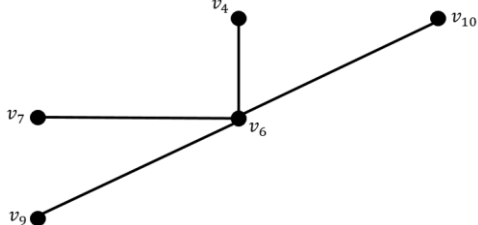
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses		Subgraf diperbarui G'_{v_5}
		v_7	$\{v_9\}$	

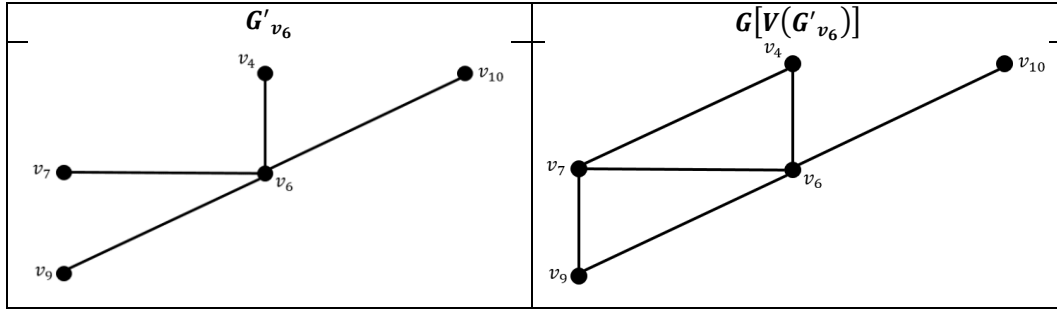
G'_{v_5}	$G[V(G'_{v_5})]$
	

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_5})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_5})]) - \{v_1\}} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_5})]$
1	$v_5, v_2, v_4, v_3, v_6, v_7$	v_7	$G[V(G'_{v_5})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_5})]) - \{v_1\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
2	v_5, v_2, v_4, v_3, v_6	v_6	$G[V(G'_{v_5})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_5})]) - \{v_1\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
3	v_5, v_2, v_4, v_3	v_3	$G[V(G'_{v_5})] - \{v_3\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_5})]) - \{v_1\}} S_i = U$	Hapus permanen	

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_5})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_5})]) - \{v_4\}} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_5})]$
4	v_5, v_2, v_4	v_4		$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_5})]) - \{v_4\}} S_i = U$ tetapi v_4 memutus konektivitas, dengan kata lain v_4 merupakan <i>cut vertex</i> , jadi v_4 tidak dapat dihapus	Tidak dihapus	
5	v_5, v_2	v_2		$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_5})]) - \{v_2\}} S_i = U$	Hapus permanen	

Nyit Penrissen

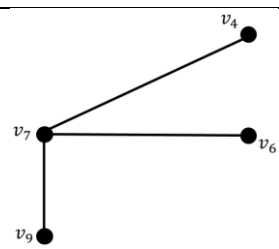
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui G'_{v_6}
0	-	v_6	$\{v_4, v_5, v_7, v_{10}\}$	
1	$\{v_4, v_7, v_9, v_{10}\}$	v_4	$\{v_2, v_3, v_5\}$	
		v_7	-	
		v_9	$\{v_{14}\}$	
		v_{10}	$\{v_{11}, v_{12}, v_{13}\}$	

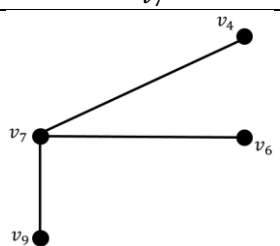
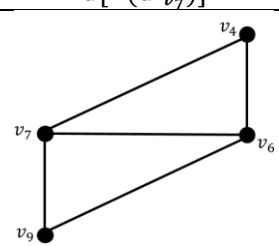


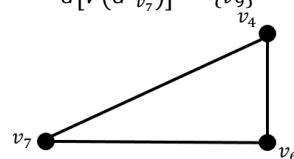
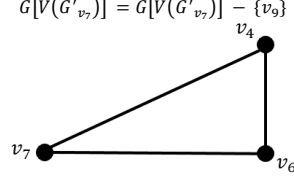
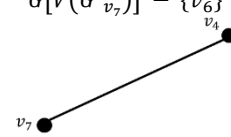
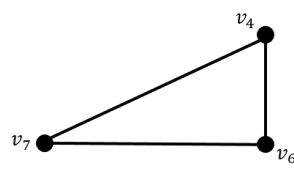
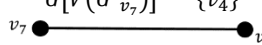
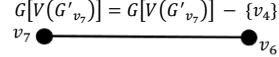
No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_6})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_6})])} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_6})]$
1	$v_6, v_4, v_7, v_9, v_{10}$	v_{10}	$G[V(G'_{v_6})] - \{v_{10}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_6})]) - \{v_{10}\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_6})] = G[V(G'_{v_6})] - \{v_{10}\}$
3	v_6, v_4, v_7, v_9	v_9	$G[V(G'_{v_6})] - \{v_9\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_6})]) - \{v_9\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_6})] = G[V(G'_{v_6})] - \{v_9\}$
4	v_6, v_4, v_7	v_7	$G[V(G'_{v_6})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_6})]) - \{v_7\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
5	v_6, v_4	v_4	$G[V(G'_{v_6})] - \{v_4\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_6})]) - \{v_4\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_6})] = G[V(G'_{v_6})] - \{v_4\}$

Gunung Raya Pasi


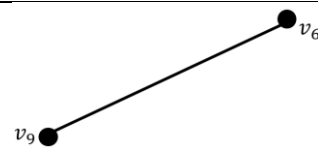
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui G'_{v_7}
0	-	v_7	$\{v_4, v_6, v_9\}$	
1	$\{v_4, v_6, v_9\}$	v_4	$\{v_2, v_3, v_5\}$	
		v_6	$\{v_{10}\}$	

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui G'_{v_7}
		v_9	$\{v_{14}\}$	

G'_{v_7}	$G[V(G'_{v_7})]$
	

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_7})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_7})])} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_7})]$
1	v_7, v_4, v_6, v_9	v_9	$G[V(G'_{v_7})] - \{v_9\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_7})]) - \{v_9\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_7})] = G[V(G'_{v_7})] - \{v_9\}$ 
2	v_7, v_4, v_6	v_6	$G[V(G'_{v_7})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_7})]) - \{v_6\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
3	v_7, v_4	v_4	$G[V(G'_{v_7})] - \{v_4\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_7})]) - \{v_4\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_7})] = G[V(G'_{v_7})] - \{v_4\}$ 

Sungai Mandor

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui G'_{v_9}
0	-	v_9	$\{v_6, v_7, v_{14}\}$	
1	$\{v_6, v_7, v_{14}\}$	v_6	$\{v_4, v_{10}\}$	

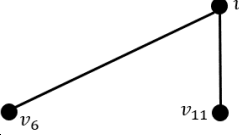
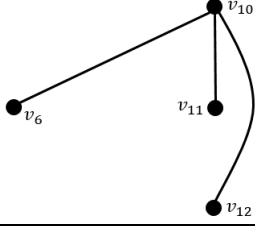
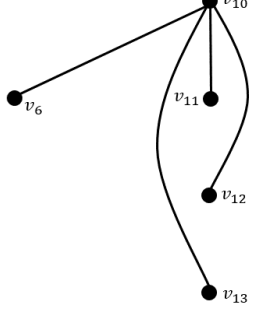
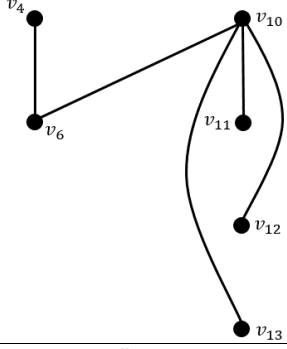
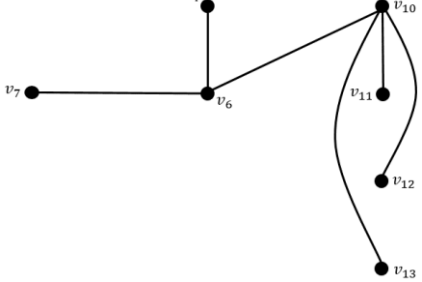
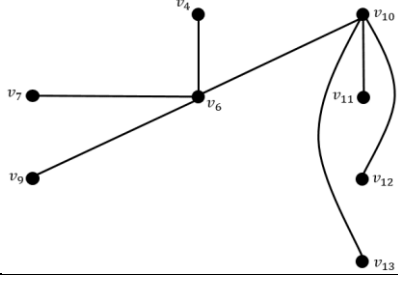
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui G'_{v_9}
		v_7	$\{v_4\}$	
		v_{14}	$\{v_{13}\}$	

G'_{v_9}	$G[V(G'_{v_9})]$

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_9})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_9})]) - \{v_i\}} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_9})]$
	v_9, v_6, v_7, v_{14}	v_{14}		$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_9})]) - \{v_{14}\}} S_i = U$	Hapus permanen	
1	v_9, v_6, v_7	v_7	$G[V(G'_{v_9})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_9})]) - \{v_7\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
2	v_9, v_6	v_6	$G[V(G'_{v_9})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_9})]) - \{v_6\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	

Danau Sentarum

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{10}}$
0	-	v_{10}	$\{v_6, v_{11}, v_{12}, v_{13}\}$	
1	$\{v_6, v_{11}, v_{12}, v_{13}\}$	v_6	$\{v_4, v_7, v_9\}$	

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{10}}$
		v_{11}	-	
		v_{12}	-	
		v_{13}	$\{v_{14}\}$	
2	$\{v_4, v_7, v_9, v_{14}\}$	v_4	$\{v_2, v_3, v_5\}$	
		v_7	-	
		v_9	-	

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{10}}$
		v_{14}	-	

$G'_{v_{10}}$	$G[V(G'_{v_{10}})]$

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_{10}})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{14}\})} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_{10}})]$
1	$v_{10}, v_6, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_4, v_7, v_9, v_{14}$	v_{14}	$G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{14}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{14}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{10}})] = G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{14}\}$
2	$v_{10}, v_6, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_4, v_7, v_9$	v_9	$G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_9\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_9\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{10}})] = G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_9\}$
3	$v_{10}, v_6, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_4, v_7$	v_7	$G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_7\})} S_i \neq U$	Tidak dihapus	$G[V(G'_{v_{10}})] = G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_7\}$

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_{10}})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_i\})} S_i = U$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_{10}})]$
4	$v_{10}, v_6, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_4$	v_4	$G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_4\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_4\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{10}})] = G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_4\}$
5	$v_{10}, v_6, v_{11}, v_{12}, v_{13}$	v_{13}	$G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{13}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{13}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{10}})] = G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{13}\}$
6	$v_{10}, v_6, v_{11}, v_{12}$	v_{12}	$G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{12}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{12}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{10}})] = G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{12}\}$
7	v_{10}, v_6, v_{11}	v_{11}	$G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{11}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{11}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{10}})] = G[V(G'_{v_{10}})] - \{v_{11}\}$

Betung Kerihun





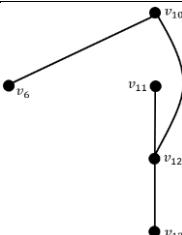
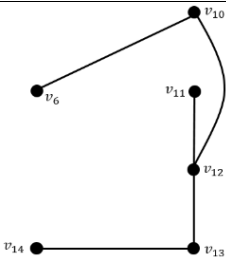
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{11}}$
0	-	v_{11}	$\{v_{10}, v_{12}\}$	
1	$\{v_{10}, v_{12}\}$	v_{10}	$\{v_6\}$	
		v_{12}	$\{v_{13}\}$	
2	$\{v_6, v_{13}\}$	v_6	$\{v_4, v_7, v_9\}$	

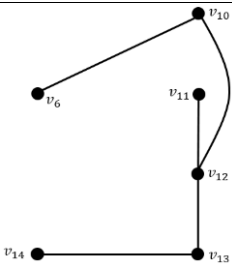
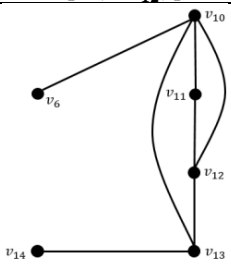
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{11}}$
		v_{13}	$\{v_{14}\}$	
3	$\{v_4, v_7, v_9, v_{14}\}$	v_4	$\{v_2, v_3, v_5\}$	
		v_7	-	
		v_9	$\{v_{14}\}$	
		v_{14}	-	

$G'_{v_{11}}$	$G[v(G'_{v_{11}})]$

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_{11}})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_i\})} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_{11}})]$
1	$v_{11}, v_{10}, v_{12}, v_6, v_{13}, v_4, v_7, v_9, v_{14}$	v_{14}	$G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{14}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{14}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{11}})] = G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{14}\}$
2	$v_{11}, v_{10}, v_{12}, v_6, v_{13}, v_4, v_7, v_9$	v_9	$G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_9\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_9\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{11}})] = G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_9\}$
3	$v_{11}, v_{10}, v_{12}, v_6, v_{13}, v_4, v_7$	v_7	$G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_7\})} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
4	$v_{11}, v_{10}, v_{12}, v_6, v_{13}, v_4$	v_4	$G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_4\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_4\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{11}})] = G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_4\}$
	$v_{11}, v_{10}, v_{12}, v_6, v_{13}$	v_{13}	$G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{13}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{13}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{11}})] = G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{13}\}$
	v_{11}, v_{10}, v_{12}	v_{12}	$G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{12}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{12}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{11}})] = G[V(G'_{v_{11}})] - \{v_{12}\}$

Bukit Baka Batu Raya



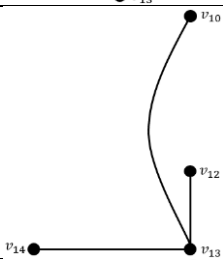
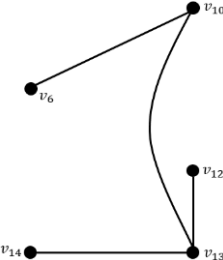
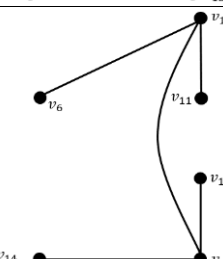
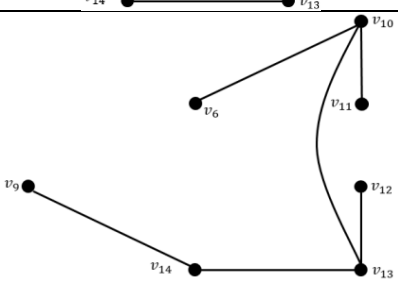
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{12}}$
0	-	v_{12}		
1	$\{v_{10}, v_{11}, v_{13}\}$	v_{10}	$\{v_6\}$	
		v_{11}	-	
		v_{13}	$\{v_{14}\}$	
2	$\{v_6, v_{14}\}$	v_6	$\{v_4, v_7, v_9\}$	
		v_{14}	$\{v_9\}$	

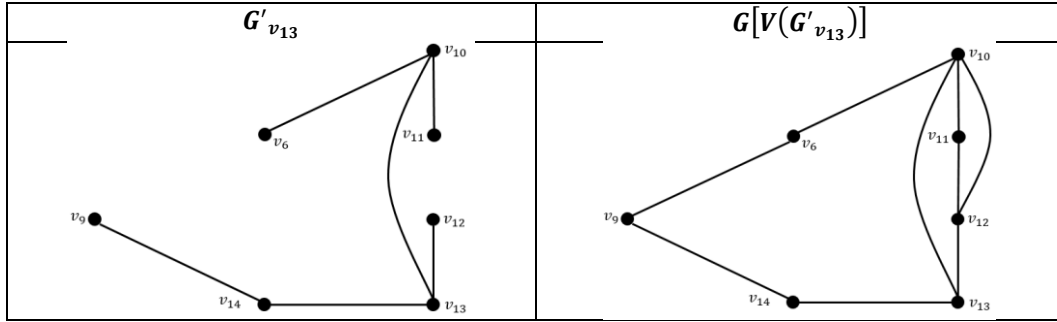
$G'_{v_{12}}$	$G[V(G'_{v_{12}})]$
	

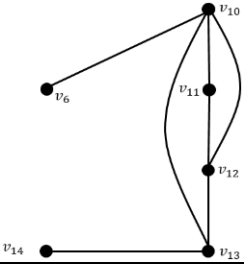
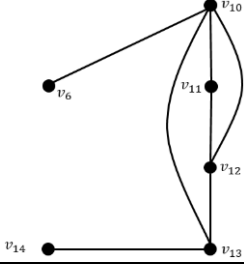
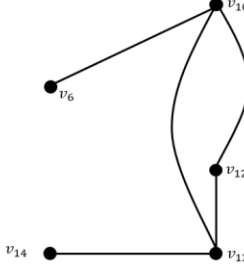
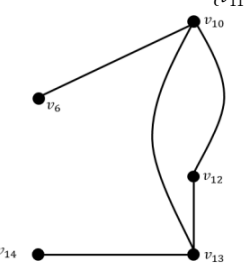
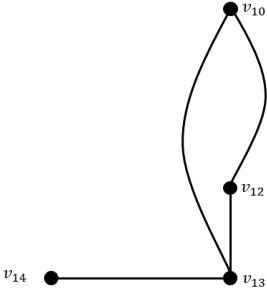
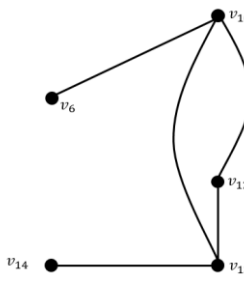
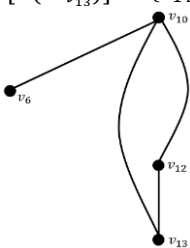
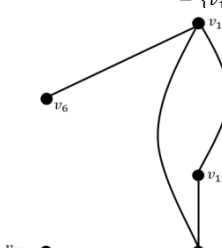
No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_{12}})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_{14}\}}) S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_{12}})]$
1	$v_{12}, v_{10}, v_{11}, v_{13}, v_6, v_{14}$	v_{14}	$G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_{14}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_{14}\}}) S_i \neq U$	Tidak dihapus	
2	$v_{12}, v_{10}, v_{11}, v_{13}, v_6$	v_6	$G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_{14}\}}) S_i \neq U$	Tidak dihapus	$G[V(G'_{v_{12}})] = G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_6\}$
3	$v_{12}, v_{10}, v_{11}, v_{13}$	v_{13}	$G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_{13}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_{13}\}}) S_i = U$ v_{13} memutus konektivitas	Tidak dihapus	
4	v_{12}, v_{10}, v_{11}	v_{11}	$G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_{11}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{12}})] - \{v_{11}\}}) S_i = U$	Hapus permanen	

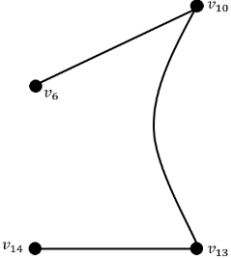
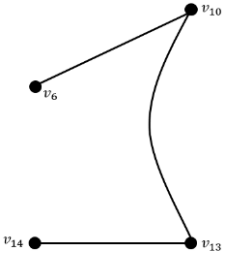
Bukit Baning

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{13}}$
0	-	v_{13}	$\{v_{10}, v_{12}, v_{14}\}$	


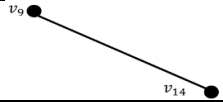
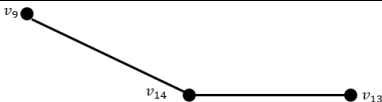
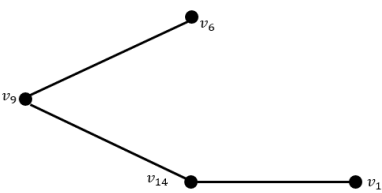
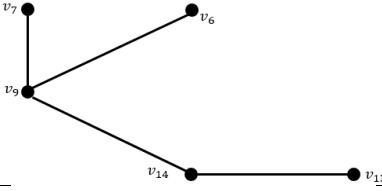
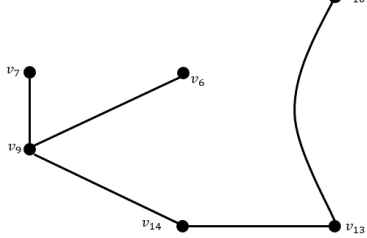
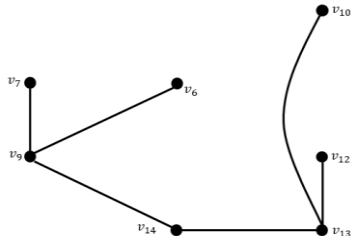
k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{13}}$
1	$\{v_{10}, v_{12}, v_{14}\}$	v_{10}	$\{v_6, v_{11}\}$	
		v_{12}	$\{v_{11}\}$	
		v_{14}	$\{v_9\}$	
2	$\{v_6, v_{11}, v_9\}$	v_6	$\{v_4, v_7\}$	
		v_{11}	-	
		v_9	$\{v_7\}$	

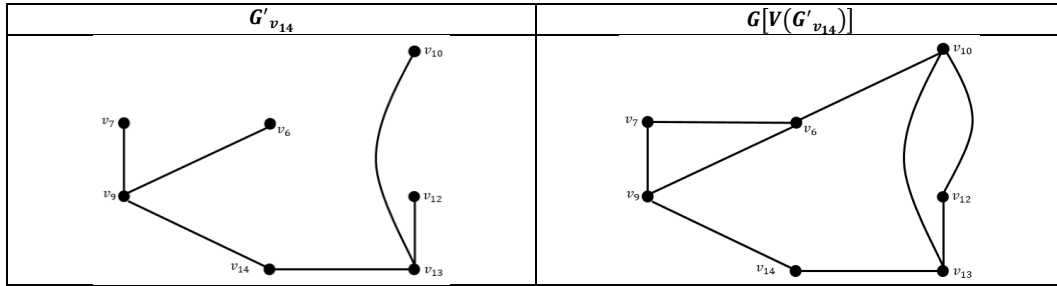


No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_{13}})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_i\})} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_{13}})]$
1	$v_{13}, v_{10}, v_{12}, v_{14}, v_6, v_{11}, v_9$	v_9	$G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_9\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_9\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{13}})] = G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_9\}$ 
2	$v_{13}, v_{10}, v_{12}, v_{14}, v_6, v_{11}$	v_{11}	$G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{11}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{11}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{13}})] = G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{11}\}$ 
3	$v_{13}, v_{10}, v_{12}, v_{14}, v_6$	v_6	$G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_6\})} S_i \neq U$	Tidak dihapus	$G[V(G'_{v_{13}})] = G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_6\}$ 
4	$v_{13}, v_{10}, v_{12}, v_{14}$	v_{14}	$G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{14}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{14}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{13}})] = G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{14}\}$ 

No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_{13}})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{13}})])} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_{13}})]$
5	v_{13}, v_{10}, v_{12}	v_{12}	$G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{12}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{12}\})} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{13}})] = G[V(G'_{v_{13}})] - \{v_{12}\}$ 

Gunung Palung

k	$N_k(v_s)$	Simpul yang diproses	$N_{k+1}(v_s)$	Subgraf diperbarui $G'_{v_{14}}$
0	-	v_{14}	$\{v_9, v_{13}\}$	
1	$\{v_9, v_{13}\}$	v_9	$\{v_6, v_7\}$	
		v_{13}	$\{v_{10}, v_{12}\}$	
2	$\{v_6, v_7, v_{10}, v_{12}\}$	v_6	$\{v_4\}$	
		v_7	-	
		v_{10}	$\{v_{11}\}$	
		v_{12}	$\{v_{11}\}$	

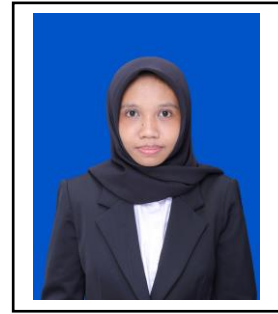


No	Urutan simpul yang diproses	Simpul yang dihapus sementara	Subgraf sementara $G[V(G'_{v_{14}})]$	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{14}})])} S_i$	Status hapus	Pembaruan subgraf $G[V(G'_{v_{14}})]$
1	$v_{14}, v_9, v_{13}, v_6, v_7, v_{10}, v_{12}$	v_{12}	$G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_{12}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{14}})]) - \{v_{12}\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{14}})] = G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_{12}\}$
2	$v_{14}, v_9, v_{13}, v_6, v_7, v_{10}$	v_{10}	$G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_{10}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{14}})]) - \{v_{10}\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{14}})] = G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_{10}\}$
3	$v_{14}, v_9, v_{13}, v_6, v_7$	v_7	$G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_7\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{14}})]) - \{v_7\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{14}})] = G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_7\}$
4	v_{14}, v_9, v_{13}, v_6	v_6	$G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_6\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{14}})]) - \{v_6\}} S_i \neq U$	Tidak dihapus	
5	v_{14}, v_9, v_{13}	v_{13}	$G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_{13}\}$ 	$\bigcup_{v_i \in V(G[V(G'_{v_{14}})]) - \{v_{13}\}} S_i = U$	Hapus permanen	$G[V(G'_{v_{14}})] = G[V(G'_{v_{14}})] - \{v_{13}\}$

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Curriculum Vitae

Nama : Widya Pebrianti
Tempat dan Tanggal Lahir : Ketapang, 26 Oktober 2002
Alamat : Jl. Rahadi Usman Desa Sungai Bakau
Jenis Kelamin : Perempuan
Status : Belum Bekerja
Golongan Darah : -
Tinggi/Berat Badan : 150 cm / 45 kg
Nomor HP : 089691754162
E-mail : h1011201045@student.untan.ac.id



Riwayat Pendidikan

Periode (Tahun)	Sekolah / Institusi / Universitas	Jurusan/Prodi	Tahun Lulus
2008	SD Negeri 05 Sungai Bakau	-	2014
2014	MTs Negeri 02 Sungai Besar	-	2017
2017	MA Negeri 02 Ketapang	Ilmu Pengetahuan Alam	2020
2020	Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam	Matematika/Matematika	2024

Pelatihan/Seminar yang pernah diikuti

Tahun	Lembaga / Institusi	Keterangan
2020	BEM FMIPA UNTAN	PKKMB Samudra 2020
2020	BEM FMIPA UNTAN	<i>Leadership Training 1</i>
2020	BEM FMIPA UNTAN	<i>Leadership Training 2</i>
2020	Himatika FMIPA UNTAN	Peserta Orientasi dan Edukasi di lingkungan Mahasiswa Matematika (Osalamatika)
2020	Himatika FMIPA UNTAN	Peserta Siap Gabung Matematika 1
2020	Himatika FMIPA UNTAN	Peserta Siap Gabung Matematika 2
2020	FKMI Fikri FMIPA UNTAN	Peserta <i>Islamic Scientist Training 1</i> 2020
2020	MSI FMIPA UNTAN	Peserta <i>Scientific Student Training</i> 2020
2020	MSI FMIPA UNTAN	Peserta <i>Scientific Leadership Training</i> 2020
2021	Jurusan Matematika FMIPA UNTAN	Peserta Webinar Peran Aktuaris dan Data Science di Era Industri 4.0
2021	Himatika FMIPA UNTAN	Peserta Kuliah Umum Pra Skripsi
2021	FMIPA UNTAN	Peserta Seminar Bela Negara dan Wawasan Bagi Mahasiswa Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura
2021	FKMI Fikri FMIPA UNTAN	Peserta Seminar Nasional dengan tema “Peran Ibu dalam Peradaban Islam”
2022	Himatika FMIPA UNTAN	Peserta <i>Leadership</i> Matematika (Lemma) 2
2022	Himatika FMIPA UNTAN	Peserta <i>Leadership</i> Matematika (Lemma) 2
2022	Program Studi Matematika FMIPA UNTAN	Peserta Kuliah Umum Pengembangan Teori Fuzzy Dalam Menyongsong Era Society 5.0
2022	FMIPA UNTAN	Peserta Pelatihan Peningkatan Motivasi dan Prestasi Mahasiswa Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura

2023	Debating Union of UNTAN	Peserta SEMINAR DEBAT
2023	Program Studi Matematika FMIPA UNTAN	Peserta Kuliah Umum Topik-Topik Penelitian Pada Graf
2023	Program Studi Matematika FMIPA Universitas Tanjungpura	Peserta Kuliah Umum Kontrol Optimasi dan Peranannya dalam Big Society 5.0

Pengalaman Organisasi

Tahun	Lembaga/Institusi	Keterangan
2020	Himatika FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang Sekretaris Karisma
2020	Himatika FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang Sekretaris Kompetisi Matematika ke-17
2021	Himatika FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang Sekretaris Pleno
2021	Himatika FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang HPDD <i>Mathematic Big Conference</i>
2021	Himatika FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang Akademik
2021	FKMI Fikri FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang <i>Media Center</i> (MC)
2021	MSI FMIPA UNTAN	Rekan kerja Bidang <i>Network Information Technology</i> (NIT)
2021	Himatika FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang Divisi Daerah Kompetisi Matematika Ke-18
2021	Himatika FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang Acara Himatika Day Ke-19
2021	FKMI Fikri FMIPA UNTAN	Panitia Seminar Nasional Peran Ibu dalam Peradaban Islam.
2022	MSI FMIPA UNTAN	Rekan Kerja HPDD MIPA <i>Science Festival</i>
2022	Himatika FMIPA UNTAN	Rekan Kerja Bidang Sekretaris Himatika Day Ke-20
2022	Himatika FMIPA UNTAN	Kepala Bidang Akademik

Sertifikat

Tahun	Lembaga/Institusi	Keterangan
2020	Himatika FMIPA UNTAN	Anggota Aktif Kaderisasi Himatika FMIPA UNTAN
2020	MSI FMIPA UNTAN	Motivation Letter Terbaik dalam kegiatan <i>Science Intelligent Meeting 2 2020</i>
2021	Pelatihan Olimpiade Sains Indonesia (POSI)	Peserta Kompetisi Sains Indonesia (KSI) POSI Bidang Matematika
2021	Himatika FMIPA UNTAN	Peserta kegiatan <i>Mathematics Photography Competition</i>
2022	FMIPA Universitas Tanjungpura	Partisipasi Peserta KN MIPA UNTAN
2022	FKMI Fikri FMIPA UNTAN	Pemenang dalam lomba kegiatan FKMI Fikri ke-20
2022	FKMI Fikri FMIPA UNTAN	Peserta <i>Media Center Design</i>
2023	Himatika FMIPA UNTAN	Partisipasi Peserta ONMIPA UNTAN
2023	FMIPA Universitas Tanjungpura	Peserta Pemilihan Mahasiswa Berprestasi FMIPA UNTAN

Pengalaman Bekerja

Tahun	Lembaga/Institusi	Keterangan
2023	Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Kalimantan Barat	Staff Magang Kerja Praktik Bidang Monev dan Rencana Kerja