

Bidang Fokus/Unggulan : Kemaritiman  
Fakultas : MIPA

**LAPORAN AKHIR**

**RISET TERAPAN UNGGULAN UNSRAT**



**PENDEKATAN TEORI GRAF UNTUK MENGANALISIS PENYEBARAN LARVA  
KARANG DAN PENGARUHNYA TERHADAP PEMUTIHAN KARANG (*CORAL  
BLEACHING*) DI TAMAN LAUT NASIONAL BUNAKEN**

**Oleh :**

**Christie E. J. C. Montolalu, S.Si, M.Sc**

**NIP. 19851210 200812 2 001 (Ketua)**

**Mans L. Mananohas, S.Si, M.Si**

**NIP. 19840611 200812 1 002 (Anggota 1)**

**Yohanes A.R. Langi, S.Si, M.Si**

**NIP. 19700613 200501 1 001 (Anggota 2)**

**UNIVERSITAS SAM RATULANGI  
NOVEMBER 2018**

Dibiayai Dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA)  
Nomor: SP DIPA – 042.01.2.400959/2018 tanggal 5 Desember 2017  
5742.003.053.525119

## HALAMAN PENGESAHAN

RISET TERAPAN UNGGULAN UNSRAT (RTUU)

### Judul

*Pendekatan Teori Graf Untuk Menganalisis Penyebaran Larva Karang Dan Pengaruhnya Terhadap Pemutihan Karang (Coral Bleaching) Di Taman Laut Nasional Bunaken*

### Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : CHRIESTIE E.J.C. MONTOLALU  
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi  
NIP/NIK : 198512102008122001  
NIDN : 0010128501  
Jabatan / Golongan : Lektor - III/a  
Fakultas / Program Studi : Fakultas Matematika dan ilmu pengetahuan alam - Matematika  
Nomor HP : 081354607777  
Alamat surel(e-mail) : chriestelly@yahoo.com  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 Tahun  
Biaya Yang Diusulkan : Rp. 52,500,000  
Biaya Maksimum : Rp. 60,000,000

### Anggota

#### Anggota (1)

Nama : MANS L. MANANOHAS  
NIDN : 0011068402  
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

#### Anggota (2)

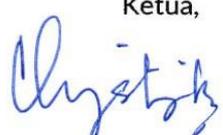
Nama : YOHANES ANDREAS ROBERT LANGI  
NIDN : 0013067002  
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Mengetahui  
Dekan Fakultas Matematika dan ilmu pengetahuan alam,



(Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc)  
NIP/NIK : 196606041995121001

Manado, 30 November 2018  
Ketua,



( CHRIESTIE E.J.C. MONTOLALU, S.SI.,M.SC)  
NIP/NIK : 198512102008122001

Menyetujui,  
Ketua LPPM UNSRAT

(Prof. Dr. Ir. Charles L. Kaunang, MS)  
NIP/NIK : 195910181986031002

## RINGKASAN

Taman Laut Bunaken mempunyai area dengan luas 75.265 ha. Terdapat 5 pulau yang termasuk dalam taman nasional ini yaitu Pulau Naen, Pulau Bunaken, Pulau Manado Tua, Pulau Siladen, dan Pulau Mantehage beserta anak pulau yang di sekelilingnya. Dalam penelitian ini dipilih 3 pulau yang jaraknya berdekatan, yaitu Pulau Bunaken, Pulau Manado Tua, dan Pulau Siladen. Perairan Bunaken menjadi salah satu sumber Perikanan untuk masyarakat di Manado dan sekitarnya. Sayangnya, beberapa studi menunjukkan jika telah terjadi kerusakan karang pada beberapa titik di laut Bunaken.

Kerusakan terumbu karang dapat dikenali melalui perubahan warna ke arah warna putih atau disebut dengan istilah pemutihan karang. Untuk melakukan kegiatan konservasi terumbu karang, dapat dipelajari keberadaan terumbu karang yang masih sehat dan bisa memproduksi larva karang untuk membantu pemulihan karang yang mengalami kerusakan. Penelitian ini akan ditekankan pada pola penyebaran larva karang dari titik-titik lokasi terumbu karang yang sehat dan melihat apakah pola penyebarannya dapat mencapai/melewati lokasi terumbu karang yang rusak. Jika larva karang bisa mencapai lokasi terumbu karang yang rusak, maka ada kemungkinan larva-larva tersebut dapat membantu pemulihan terumbu karang yang rusak. Pola penyebaran larva karang akan dimodelkan dengan menggunakan Teori Graf. Penggunaan Teori Graf terlebih khusus dalam menentukan konektivitas antar objek. Dalam penelitian ini lokasi terumbu karang akan direpresentasikan oleh titik atau simpul, dan jalur perpindahan larva karang antar lokasi terumbu karang akan direpresentasikan oleh garis atau sisi.

Sumber pengumpulan data yang digunakan dalam karya tulis ini adalah data sekunder. Adapun data sekunder yang diperoleh berupa informasi yang diperoleh dari <http://tides.big.go.id> dan <http://reefgis.reefbase.org>. Metode yang digunakan dalam karya tulis ini adalah analisa studi literatur. Sumber yang digunakan berasal dari buku, jurnal ilmiah, dan artikel di internet. Langkah-langkah yang dilakukan adalah menentukan titik-titik lokasi terumbu karang, membuat *Hamiltonian Path* dari titik-titik lokasi terumbu karang yang telah dibuat, dan menentukan lokasi konservasi yang paling optimal. Berdasarkan data arus air laut dari Badan Geospasial (BIG) dan data terumbu karang dari [reefgis.org](http://reefgis.org), dapat dibentuk suatu graf yang titik-titik-nya merupakan lokasi-lokasi terumbu karang dan garis-nya merupakan jalur perpindahan larva karang.

Dari graf yang terbentuk, terdapat 49 titik. Dari 49 titik yang ada, dipilih 10 titik sebagai *source*, yaitu lokasi yang akan dijadikan sebagai lokasi awal konservasi. Pada 10 lokasi awal konservasi akan dilakukan pemulihan terumbu karang agar jika terumbu karang di 10 lokasi awal konservasi tersebut telah sehat, larva karang dari 10 lokasi tersebut dapat berpindah dengan adanya arus air laut ke lokasi-lokasi lain yang terumbu karangnya membutuhkan pemulihan. *Sink* merupakan lokasi yang terindikasi sebagai lokasi terumbu karang yang akan menyerap larva karang. Lokasi yang terindikasi sebagai *sink* berjumlah 33. Dengan memperbaiki 10 *source*, kita dapat memulihkan 33 *sink*. Sehingga total lokasi terumbu karang yang sehat nanti berjumlah 42 lokasi. Terdapat 7 lokasi yang merupakan *isolated vertex*, yaitu daerah yang tidak akan berpengaruh terhadap pemulihan terumbu karang lainnya dan tidak terpengaruh oleh terumbu karang lainnya.

## **PRAKATA**

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa karena dengan perkenanan-Nya tim peneliti telah menyelesaikan beberapa tahap dalam Riset Terapan Unggulan UNSRAT (RTUU) yang ditandai dengan selesainya penyusunan Laporan Akhir Penelitian yang berjudul: “PENDEKATAN TEORI GRAF UNTUK MENGANALISIS PENYEBARAN LARVA KARANG DAN PENGARUHNYA TERHADAP PEMUTIHAN KARANG (CORAL BLEACHING) DI TAMAN LAUT NASIONAL BUNAKEN”.

Selama pelaksanaan penelitian ini, ada banyak bimbingan, arahan, dan dukungan yang diperoleh. Oleh karena itu, ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Ellen Joan Kumaat, M.Sc, DEA selaku rektor Universitas Sam Ratulangi Manado
2. Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSRAT Manado
3. Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNSRAT Manado
4. Pimpinan jurusan dan staf dosen Matematika FMIPA UNSRAT.

Adapun dalam penelitian ini pasti akan ditemui kekurangan-kekurangan, untuk itu kritik dan saran sangat diharapkan. Semoga laporan ini dapat dipergunakan dan memberikan manfaat bagi pembaca.

Manado, November 2018

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
RINGKASAN .....	iii
PRAKATA .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN .....	vii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Terumbu Karang ( <i>Coral</i> ) .....	3
2.2 Larva Karang & Pemulihan Karang.....	3
2.3 Taman Nasional Bunaken .....	5
2.4 Graf .....	6
2.4.1 Definisi.....	6
2.4.2 Istilah dalam Graf dan Jenis-Jenis Graf .....	6
2.4.3 <i>Connectivity</i> .....	7
2.4.4 <i>Euler and Hamilton Paths</i> .....	7
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	8
BAB 4. METODE PENELITIAN .....	9
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI .....	10
5.1 Model Penyebaran dengan <i>Hamiltonian Path</i> .....	10
5.2 Analisis Pemulihan Karang yang Rusak.....	12
5.3 Luaran yang dicapai .....	13
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN .....	14
DAFTAR PUSTAKA.....	15
LAMPIRAN .....	16

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Terumbu Karang .....	3
Gambar 2.	Peta Pulau Bunaken.....	5
Gambar 3.	Daerah Terumbu Karang yang Butuh Perawatan.....	10
Gambar 4.	Peta Pulau Manado Tua, Bunaken, dan Naen .....	10
Gambar 5.	Pembuatan Titik-Titik pada peta .....	10
Gambar 6.	Graf Lokasi Terumbu Karang .....	11

## DAFTAR LAMPIRAN

Surat Tugas .....	16
-------------------	----

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Taman Laut Nasional Bunaken mempunyai area dengan luas 75.265 ha. Terdapat 5 pulau yang termasuk dalam taman nasional ini yaitu Pulau Naen, Pulau Bunaken, Pulau Manado Tua, Pulau Siladen, dan Pulau Mantehage beserta anak pulau yang di sekelilingnya (<http://www.manado.ut.ac.id>). Dalam penelitian ini dipilih 3 pulau yang jaraknya berdekatan, yaitu Pulau Bunaken, Pulau Manado Tua, dan Pulau Siladen. Kawasan Bunaken secara geografis masuk dalam perairan “Segi Tiga Emas” yaitu perairan yang menghubungkan laut Papua, Filipina, dan Pasifik dan dalam kawasan ini terdapat ribuan spesies ikan dimana habitatnya sangat bergantung pada kelestarian terumbu karang yang menjadi rumah mereka. Keberagaman jenis ikan dan terumbu karang dalam perairan laut Bunaken melatarbelakangi Pemerintah Kota Manado untuk menggagas kawasan ini sebagai kawasan objek wisata bahari dan oleh pemerintah pusat telah ditetapkan sebagai Taman Laut Nasional. Perairan Bunaken menjadi salah satu sumber Perikanan untuk masyarakat di Manado dan sekitarnya. Sayangnya, beberapa studi menunjukkan jika telah terjadi kerusakan karang pada beberapa titik di laut Bunaken (<https://id.coralwatch.org/bleaching-event-indonesia>).

Kegiatan manusia seperti penambangan atau pengambilan karang, penangkapan ikan dengan penggunaan bahan peledak maupun racun serta pencemaran laut dengan minyak bumi, limbah industri, dan rumah tangga dapat berakibat pada kerusakan ekosistem terumbu karang. Selain kerusakan terumbu karang yang disebabkan oleh aktifitas manusia, kerusakan terumbu karang juga disebabkan oleh kenaikan suhu air laut akibat dampak pemanasan global. Kerusakan terumbu karang dapat dikenali melalui perubahan warna ke arah warna putih atau disebut dengan istilah pemutihan karang.

Untuk melakukan kegiatan konservasi terumbu karang, ada beberapa faktor yang bisa dipelajari. Di antaranya adalah keberadaan terumbu karang yang masih sehat dan bisa memproduksi larva karang untuk membantu pemulihan karang yang mengalami kerusakan (Rani, 2003). Penelitian ini akan ditekankan pada pola penyebaran larva karang dari titik-titik lokasi terumbu karang yang sehat dan melihat apakah pola penyebarannya dapat mencapai/melewati lokasi terumbu karang yang rusak. Jika larva karang bisa mencapai

lokasi terumbu karang yang rusak, maka ada kemungkinan larva-larva tersebut dapat membantu pemulihan terhadap terumbu karang yang rusak. Sebaliknya, jika larva karang tersebut tidak dapat mencapai lokasi terumbu karang yang rusak, maka terdapat kemungkinan bahwa terumbu karang yang rusak tersebut lama dalam proses pemulihan bahkan bisa mati.

Pola penyebaran larva karang akan dimodelkan dengan menggunakan Teori Graf. Penggunaan Teori Graf terlebih khusus dalam menentukan konektivitas antar objek. Objek bisa direpresentasikan oleh titik atau simpul, sedangkan konektivitasnya direpresentasikan oleh garis atau sisi. Selanjutnya, kita dapat menyelesaikan permasalahan yang telah dimodelkan dan mendapatkan hasil akhir yang optimal. Dalam penelitian ini lokasi terumbu karang akan direpresentasikan oleh titik atau simpul, dan jalur perpindahan larva karang antar lokasi terumbu karang akan direpresentasikan oleh garis atau sisi.

Konservasi terumbu karang ini kedepannya dapat membantu pemulihan terumbu karang. Bukan hanya pemulihan di 3 pulau yang terdapat dalam karya ilmiah ini tetapi dapat juga membantu pemulihan seluruh terumbu karang yang ada. Pemulihan keseluruhan terumbu karang akan membantu proses pembangunan berkelanjutan dalam bidang kemaritiman. Khususnya, untuk ketersediaan sumber daya perikanan dan pariwisata.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang akan diselesaikan melalui karya tulis ilmiah ini adalah bagaimana model optimal konservasi terumbu karang berdasarkan penyebaran larva karang?

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Terumbu Karang (*Coral*)

Terumbu karang (*Coral*) memiliki peranan yang penting bagi keanekaragaman organisme laut. Pada karang yang sehat, alga (*dinoflagelata simbiotik*) hidup di dalam jaringan karang. Alga memberikan energi pada karang berupa gula dan asam amino, dan memberi karakter warna pada karang. Akibat dari kondisi lingkungan yang tidak baik menyebabkan alga ini terlepas dari jaringan karang, sehingga warna karang berubah menjadi putih atau dikenal dengan pemutihan karang (<http://coralwatch.org/web/guest>, 2014).



**Gambar 1.** Terumbu Karang

### 2.2 Larva Karang dan Pemulihan Karang

Terumbu karang yang sehat dengan struktur bio-fisik yang kompleks akan menyediakan makanan yang maksimal terhadap pelbagai organisme, menyediakan mikrohabitat yang baik untuk berlangsungnya proses-proses reproduksi dan perlekatan larva, dan memberi perlindungan fisik dari predator (khususnya untuk larva). Kerusakan terumbu karang akan memberikan pengaruh tidak hanya berupa penurunan keragaman hayati tetapi juga berdampak sosial-ekonomi bagi masyarakat pesisir (nelayan). Oleh karena itu, diperlukan kegiatan-kegiatan yang terkait dengan usaha-usaha agar dapat membatasi kerusakan tersebut (regulasi), dan melindungi atau melakukan restorasi terhadap terumbu karang yang rusak (Rani, 2003).

Kembalinya ekosistem terumbu karang ke fungsi semula setelah kematian akibat pemutihan masal bergantung pada kesuksesan reproduksi dan rekolonisasi karang-karang yang tersisa

dan dari karang-karang yang berada diluar populasi sumber terumbu (Done, 1995). Karang bereproduksi secara seksual dan diluar kelamin (aseksual). Reproduksi seksual melibatkan pembuahan telur karang oleh sperma untuk membentuk larva yang berenang bebas. Larva-larva tersebut dapat beradaptasi dengan baik untuk distribusi serta tergantung dari jenis dan kondisinya dapat menjadi bibit dimana mereka berasal, didekat terumbu karang, atau terumbu karang yang ratusan kilometer jauhnya (Richmond, 1997). Distribusi ini membutuhkan arus laut yang tepat untuk membuahi karang di hilir dan penting untuk menjaga keragaman genetik antara populasi karang dan terumbu karang. Peremajaan (*recruitment*) adalah suatu proses dimana karang yang masih muda mengalami penempelan larva dan bermetamorfosis menjadi bagian dari populasi dewasa dan komunitas terumbu karang. Setelah melewati tahap berenang bebas di kolom perairan, larva kemudian menempel pada substrat yang cocok; keberadaan substrat yang baik penting bagi kesuksesan peremajaan karang.

Sekali menempel, karang harus bersaing dengan organisme lain yang berkembang lebih cepat seperti alga dan invertebrata yang mengeras dan menghindari dimangsa oleh ikan pemakan karang. Kegagalan reproduksi (contohnya, jika semua karang telah dewasa secara seksual mati akibat pemutihan) dan lokalisasi peremajaan akan memperlambat pemulihan karang-karang yang telah rusak (Richmond, 1997). Akan tetapi, tutupan karang masih mungkin kembali pada akhirnya melalui reproduksi aseksual. Reproduksi aseksual terjadi bila patahan-patahan karang terlepas dari koloni induknya, biasanya dikarenakan dampak fisik dari, contohnya gelombang atau badai.

Patahan sangat rapuh terhadap dampak fisik dan dapat dengan mudah kehilangan lapisan tipis dari jaringan hidupnya bila tergulung dari dasar perairan karena gerakan air. Akan tetapi, apabila patahan mendarat pada substrat yang tepat, maka ia dapat menempelkan kembali dirinya sendiri dan berkembang menjadi koloni baru. Suatu terumbu dimana mayoritas karangnya telah mati tetapi telah berstruktur, dapat tetap menjadi substrat yang stabil dan tepat untuk karang-karang muda dan patahan untuk menempel dan tumbuh. Sehingga terjaganya karang-karang yang telah mati tetap berharga. Karang yang telah mati, rapuh terhadap organisme yang melubangi mereka dan melemahkan struktur terumbu karang. Gelombang yang kuat atau badai dapat merusakkan terumbu karang dalam kondisi tersebut, mengubah suatu struktur yang kompleks menjadi ladang kerikil yang tidak cocok untuk tempat penempelan karang. Akan tetapi, alga merah berkapur (red coralline algae)

dapat membantu melengketkan terumbu, mengurangi keretakan dan menyediakan substrat yang cukup untuk penempelan larva.

### 2.3 Taman Nasional Bunaken

Taman Nasional Bunaken adalah taman laut yang terletak di Propinsi [Sulawesi Utara](#) dan masuk dalam wilayah Kota Manado. Taman ini terletak di [Segitiga Terumbu Karang](#) dan menjadi habitat bagi 390 spesies terumbu karang (<http://id.wikipedia.org/>) juga berbagai spesies ikan, moluska, reptil dan mamalia laut. Taman Nasional Bunaken merupakan perwakilan ekosistem laut Indonesia, meliputi padang rumput laut, terumbu karang dan ekosistem pantai.

Taman nasional ini didirikan pada tahun 1991 melalui SK Menteri Kehutan RI No 730/Kpts-II/1991 dan meliputi wilayah seluas 890.65 km<sup>2</sup>. (<http://www.dephut.go.id/>). Letak geografis Taman Nasional Bunaken pada 1° 35' – 1°49'LU dan 124°39' – 124°35' BT. Dari keseluruhan habitat yang ada dalam Taman Nasional ini terdapat 97% habitat laut dan sisanya 3% habitat daratan. Taman Nasional Bunaken meliputi lima pulau yaitu pulau [Bunaken](#), Pulau Manado Tua, Pulau Mantehage, Pulau [Naen](#) dan Pulau Siladen.



**Gambar 2.** Peta Pulau Bunaken

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi kerusakan karang di beberapa lokasi perairan Bunaken (<https://id.coralwatch.org/bleaching-event-indonesia>).

## 2.4 Graf

Graf adalah salah satu teori terapan Matematika klasik yang masih berkembang sampai sekarang dan sering digunakan pada pemodelan masalah-masalah yang relevan. Masalah pertama kali yang menggunakan teori graf ini terjadi pada tahun 1736. Masalah tersebut adalah masalah jembatan Koningsberg di kota Koningsberg (sebelah timur negara Prussia, Jerman), sekarang bernama kota Kaliningrad, dimana terdapat sungai Pregal yang mengalir mengitari pulau Kneiphof lalu bercabang menjadi dua buah anak sungai. Upaya penyelesaian masalah tersebut telah dilakukan oleh seorang matematikawan Swiss yang bernama L. Euler. Ia merupakan orang pertama yang berhasil menemukan jawaban dengan pembuktian sederhana dimodelkannya masalah ini ke dalam graf. Daratan atau titik – titik yang dihubungkan oleh jembatan adalah titik yang di sebut simpul dan jembatan merupakan garisnya disebut juga sisi (Munir, 2014).

*Pustaka pada subbab 2.4.1 sampai dengan 2.4.4 diambil dari Walis, 2007.*

### 2.4.1 Definisi

Sebuah graf  $G$  terdiri atas himpunan titik-titik dan garis-garis. Himpunan titik  $V(G)$  dari suatu graf adalah himpunan terbatas dan tidak kosong. Himpunan garis  $E(G)$  adalah himpunan titik yang memungkinkan himpunan kosong.

### 2.4.2 Istilah dalam Graf dan Jenis-Jenis Graf

Suatu garis  $\{u, v\} = \{v, u\}$  memiliki titik ujung  $u$  dan  $v$  dan dapat secara sederhana disimbolkan oleh  $uv$  (atau  $vu$ ). Garis  $e = uv$  dikatakan *incident* dengan titik  $u$  dan  $v$ , dan sebaliknya. Jika  $e = uv$  adalah garis, maka dapat dikatakan bahwa titik-titik  $u$  dan  $v$  adalah *adjacent* dan  $e$  menggabungkan  $u$  dan  $v$ . Garis-garis yang berbeda adalah *adjacent* jika mereka memiliki titik yang sama.

Jumlah titik-titik pada graf  $G$ , disimbolkan dengan  $|V(G)|$ , disebut orde dari graf dan jumlah garis-garis pada graf  $G$ , disimbolkan dengan  $|E(G)|$ , disebut ukuran dari graf. Derajat dari suatu titik  $v$  di graf  $G$ , disimbolkan dengan  $d_G(v)$  atau  $\deg_G(v)$ , adalah nilai dari titik-titik yang terhubung dengan  $v$  (jadi  $d_G(v) = |N_G(v)|$ ).

Sebuah *isolated vertex* adalah titik dengan derajat nol, sebuah titik dengan derajat genap adalah titik genap dan sebuah titik dengan derajat ganjil adalah titik ganjil. Sebuah graf  $H$  adalah subgraf dari graf  $G$ , disimbolkan dengan  $H \leq G$ , jika  $V(H) \subseteq V(G)$  dan  $E(H) \subseteq E(G)$ . Jika  $H$  tidak sama dengan  $G$ , maka  $H$  dikatakan graf bagian dari  $G$ . Sebuah graf  $H$  adalah subgraf *spanning* dari graf  $G$  jika  $H \leq G$  dan  $V(H) = V(G)$

Suatu graf  $G$  dikatakan *connected* jika setiap dua titik dari  $G$  terhubung oleh sebuah *path*. Suatu graf yang tidak *connected* disebut *disconnected*. Suatu subgraf  $H$  dari suatu graf  $G$  adalah sebuah komponen dari  $G$  jika  $H$  adalah *connected* subgraf maksimal dari  $G$ , yaitu tidak ada lagi *connected* subgraf dari  $G$  yang lebih besar, yang memiliki  $H$  sebagai suatu subgraf.

### 2.3.3 Connectivity

Suatu *walk* di graf  $G$  adalah urutan bolak-balik  $W : v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n$  dari titik-titik dan garis-garis seperti  $e_i = v_{i-1}v_i$  untuk  $i = 1, 2, \dots, n$ . *Walk* yang berawal dari  $v_0$  dan berakhir di  $v_n$  disebut suatu *walk*  $v_0 - v_n$  dan jumlah garis-garis (tidak harus berbeda) dalam suatu *walk* disebut panjang dari *walk*. *Walk*  $v_0 - v_n$  dikatakan tertutup jika  $v_0 = v_n$  dan sebaliknya terbuka. *Walks* tertutup disebut juga sebagai *circuits*. *Walk*  $W$  dapat disimbolkan hanya dengan menulis  $W : v_0, v_1, v_2, \dots, v_n$ . Suatu *trail* adalah sebuah *walk* dimana tidak ada garis yang berulang. Suatu *path* adalah sebuah *walk* terbuka dimana tidak ada titik yang berulang. Suatu *cycle* adalah *walk* tertutup dimana tidak ada titik kecuali titik awal yang berulang.

### 2.3.4 Euler and Hamilton Paths

Suatu graf adalah *Eulerian* jika memuat suatu *trail* tertutup yang di dalamnya termasuk semua garis, *trail* tersebut disebut sebagai *Eulerian trail*. Suatu graf adalah *semi-Eulerian* yang memuat suatu *trail* terbuka yang di dalamnya terdapat semua garis, sehingga disebut *trail semi-Eulerian*.

Suatu graf adalah Hamiltonian jika graf tersebut memuat *spanning cycle*, artinya graf tersebut memuat *cycle* yang mengunjungi setiap titik tepat satu kali dan kembali ke titik asal. *Cycle* tersebut disebut sebagai *Hamiltonian cycle*. Sedangkan *Hamiltonian path* pada suatu graf  $G$  adalah jalur yang terbentuk pada  $G$  dengan mengunjungi setiap titik tepat satu kali tapi tidak kembali ke titik asal.

### **BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghasilkan model penyebaran larva karang dengan Teori Graf.
2. Menganalisis pengaruh penyebaran atau perpindahan larva karang terhadap pemutihan karang.
3. Membuat Sistem Informasi Geografis (SIG) yang memuat simulasi dan lokasi penyebaran larva karang dan pengaruhnya terhadap terumbu karang yang mengalami pemutihan (dikhususkan pada penelitian tahun ke-2).

Manfaat dari karya ini adalah untuk membantu kebijakan konservasi pemulihan terumbu karang agar dapat menghemat biaya dan waktu.

## BAB 4. METODE PENELITIAN

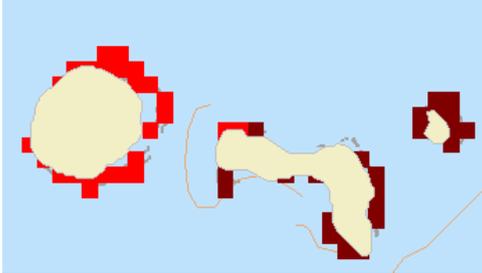
Sumber pengumpulan data yang digunakan dalam karya tulis ini adalah data sekunder. Adapun data sekunder yang diperoleh berupa informasi yang diperoleh dari <http://tides.big.go.id> dan <http://reefgis.reefbase.org>. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa studi literatur. Sumber yang digunakan berasal dari buku, jurnal ilmiah, dan artikel di internet.

Langkah-langkah:

1. Menentukan titik-titik lokasi terumbu karang,
2. Membuat *Hamiltonian Path* dari titik-titik lokasi terumbu karang yang telah dibuat,
3. Menentukan lokasi konservasi yang paling optimal.

## BAB V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

### 5.1 Model Penyebaran dengan *Hamiltonian Path*

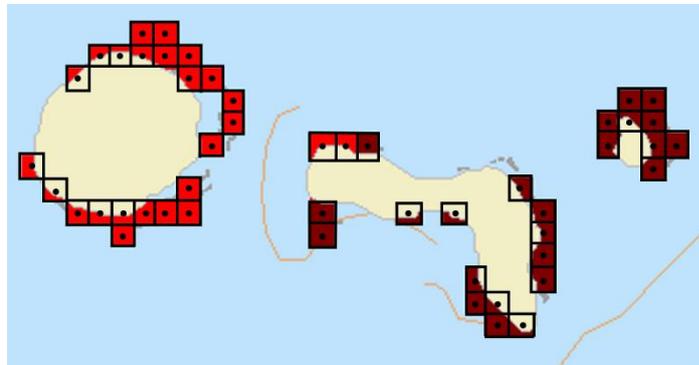


**Gambar 3.** Daerah Terumbu Karang yang butuh perawatan



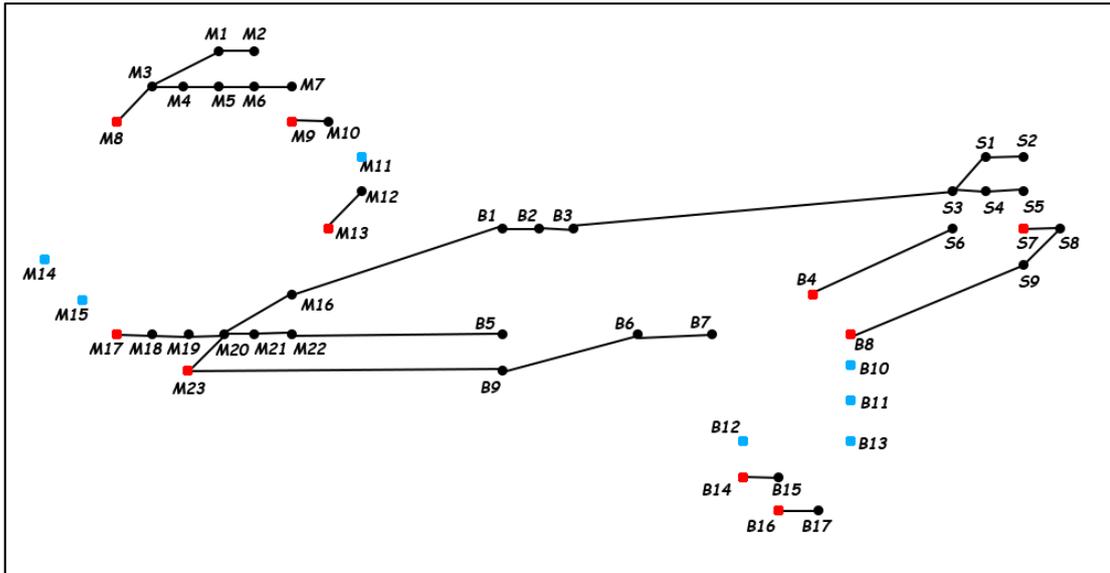
**Gambar 4.** Peta Pulau Manado Tua, Bunaken, dan Naen

Berdasarkan data arus air laut dari Badan Geospasial (BIG) dan data terumbu karang dari [reefgis.org](http://reefgis.org), dapat dibentuk suatu graf yang titik-titik-nya merupakan lokasi-lokasi terumbu karang dan garis-nya merupakan jalur perpindahan larva karang. Setiap kotak persegi dalam peta data lokasi terumbu karang, direpresentasikan sebagai 1 titik. Karena terdapat 49 persegi, maka terbentuk graf dengan 49 titik seperti yang dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.



**Gambar 5.** Pembuatan titik-titik pada peta

Lokasi terumbu karang yang akan dibentuk graf adalah terumbu karang pada pulau Manado Tua, pulau Bunaken, dan pulau Siladen. Di pulau Manado Tua, semua terumbu karangnya dalam keadaan membutuhkan perawatan. Di pulau Bunaken, hampir sebagian besar terumbu karangnya dalam keadaan sangat membutuhkan perawatan. Sedangkan di pulau Siladen, semua terumbu karangnya dalam keadaan sangat membutuhkan perawatan.



**Gambar 6.** Graf lokasi terumbu karang

● : *Source*      ● : *Sink*      ● : *Isolated Vertex*

15 *hamiltonian paths* yang didapat adalah:

1. M8 → M3 → M4 → M1 → M2
2. M8 → M3 → M4 → M5 → M6 → M7
3. M9 → M10
4. M13 → M12
5. M17 → M18 → M19 → M20 → M21 → M22 → B5
6. M17 → M18 → M19 → M20 → M16 → B1 → B2 → B3 → S3 → S1 → S2
7. M23 → M20 → M16 → B1 → B2 → B3 → S3 → S1 → S2
8. M23 → M20 → M15 → B1 → B2 → B3 → S3 → S4 → S5
9. M23 → M20 → M21 → M22 → B5
10. M23 → B9 → B6 → B7
11. B4 → B6
12. B8 → S9 → S8
13. B14 → B15
14. B16 → B17
15. S7 → S8

Dari graf yang terbentuk, terdapat 49 titik. Dari 49 titik yang ada, dipilih 10 titik sebagai *source*, yaitu lokasi yang akan dijadikan sebagai lokasi awal konservasi. Pada 10 lokasi awal konservasi akan dilakukan pemulihan terumbu karang agar jika terumbu karang di 10 lokasi

awal konservasi tersebut telah sehat, larva karang dari 10 lokasi tersebut dapat berpindah dengan adanya arus air laut ke lokasi-lokasi lain yang terumbu karangnya membutuhkan pemulihan. *Sink* merupakan lokasi yang terindikasi sebagai lokasi terumbu karang yang akan menyerap larva karang. Lokasi yang terindikasi sebagai *sink* berjumlah 33.

Dari graf yang ada dengan menggunakan 10 *source*, yaitu M8, M9, M13, M17, M23, B4, B8, B14, B16 dan S7, dapat ditentukan 15 *hamiltonian path*. 15 *hamiltonian path* yang terbentuk merupakan 15 jalur perpindahan larva karang yang dapat memulihkan terumbu karang pada 33 *sink*, yaitu M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M10, M12, M16, M18, M19, M20, M21, M22, B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9, B15, B17, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8, dan S9.

## 5.2 Analisis Pemulihan Karang yang Rusak

Dengan memperbaiki 10 *source*, kita dapat memulihkan 33 *sink*. Sehingga total lokasi terumbu karang yang sehat nanti berjumlah 42 lokasi.

Terdapat beberapa lokasi yang walaupun terumbu karangnya sudah dipulihkan tapi kemungkinan besar tidak akan berdampak pada lokasi lainnya karena arus laut dari lokasi-lokasi tersebut tidak melewati lokasi terumbu karang lainnya. Lokasi terumbu karang yang mungkin tidak akan terkena dampak dari lokasi terumbu karang lain dan juga berdampak terhadap lokasi terumbu karang lainnya merupakan *isolated vertex*. Beberapa *isolated vertex* tersebut adalah M14, M15, M11, B10, B11, B13, dan B12. Sehingga untuk 7 lokasi tersebut, masing-masing harus dilakukan pemulihan terumbu karang secara terpisah.

Untuk meminimalisasi waktu dan biaya konservasi, lokasi pertama yang dapat dipilih untuk dilakukan konservasi pemulihan terlebih dahulu, yaitu M23. Karena dengan pemulihan M23 akan berdampak pada 16 lokasi terumbu karang lainnya. Setelah M23, lokasi kedua yang dapat dilakukan pemulihan, yaitu M17 karena berdampak pada 15 lokasi lainnya. Selanjutnya, dilakukan pemulihan pada M8 karena berdampak pada 7 lokasi lainnya. Setelah itu, dilakukan pemulihan pada B8 karena berdampak pada 2 lokasi lainnya. Sedangkan lokasi yang hanya berdampak pada 1 lokasi lainnya, yaitu M9, M13, B4, B14, B16, dan S7. Lokasi-lokasi terakhir yang akan dilakukan konservasi, yaitu lokasi yang merupakan *isolated vertex*. Karena lokasi yang merupakan *isolated vertex* tidak akan berpengaruh pada pemulihan lokasi terumbu karang lainnya.

Jika lokasi pemulihan hanya akan dipilih 2, maka titik yang harus dipilih adalah M8 dan M23 karena total lokasi terumbu karang yang nantinya tidak mengalami pemutihan adalah 25. Jika diambil 2 dan dipilih titik-titik M17 dan M23 maka tidak akan optimal karena lokasi yang menjadi dampak dari M17 dan M23 berada lokasi yang sama.

### **5.3 Luaran yang Dicapai**

Hasil dari Penelitian telah dipresentasikan pada International Conference on Operations Research (ICOR 2018) yang diselenggarakan oleh Jurusan Matematika Fakultas MIPA UNSRAT pada tanggal 20-21 September 2018. Selanjutnya, hasil penelitian ini telah mendapatkan sertifikat HKI oleh Kemenkumham.

## **BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **6.1. Kesimpulan**

Berdasarkan temuan-temuan hasil analisis dan studi literatur dapat disimpulkan bahwa lokasi pertama yang harus dikonservasi terlebih dahulu adalah M23 karena dapat berdampak baik dan memulihkan terumbu karang yang rusak pada 16 lokasi lainnya.

### **6.2. Saran**

Penelitian ini bisa dilanjutkan dengan perhitungan variabel-variabel lainnya yang sangat mempengaruhi penyebaran larva karang. Variabel-variabel tersebut antara lain: kecepatan arus laut dan angin, pergerakan arus, cuaca, dan kondisi perairan Bunaken.

## DAFTAR PUSTAKA

- Edwards, A 2010, *Reef Rehabilitation Manual*, The Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program, Australia  
<<http://www.gefcoral.org>>
- Done, T.J 1995, 'Ecological criteria for evaluating coral reefs and their implications for managers and researchers', *Coral Reefs*. Vol. 14(4): 183–192.
- Munir, R 2014, *Matematika Diskrit Edisi 5*, Penerbit Informatika, Bandung.
- Munir, R 2016, *Matematika Diskrit Edisi 5*, Penerbit Informatika, Bandung.
- Rani, C 2003, 'Perikanan dan Terumbu Karang Yang Rusak: Bagaimana Mengelolanya?', *Jurnal Bionatura*. Vol. 5(2): 97 – 111
- Richmond, R.H 1997, Reproduction and recruitment in corals: critical links in the persistence of coral reefs. In C. Birkeland (ed.) *Life and Death of Coral Reefs*. Chapman and Hall, New York: 175–197.
- Treml, E, Halpin, P, Urban, D & Pratson, F 2007, 'Modeling population connectivity by ocean currents, a graph-theoretic approach for marine conservation', *Landscape Ecology*, vol. 23, no. 3, pp. 132-140.  
<<https://link.springer.com>>
- Wallis, W.D 2007, *A Beginner's Guide to Graph Theory*, Birkhauser, Boston.
- Badan Informasi Geospasial, dilihat 3 Maret 2018,  
<<http://tides.big.go.id>>
- Pemutihan Terumbu Karang*, Coral Watch, dilihat 3 Maret 2018  
<<https://id.coralwatch.org/bleaching-event-indonesia>>
- Sekilas Sulawesi Utara*, Universitas Terbuka, dilihat 3 Maret 2018,  
<<http://www.manado.ut.ac.id>>
- Taman Nasional Bunaken*, Wikipedia, dilihat 3 Maret 2018  
<[http://id.wikipedia.org/wiki/Taman\\_Nasional\\_Bunaken](http://id.wikipedia.org/wiki/Taman_Nasional_Bunaken)>

