

Penerapan Algoritma A Star dalam Menentukan Jalur Tongkang Batu Bara untuk Mencegah Kerusakan Terumbu Karang di Karimunjawa

Syaiful Anwar / 13517139

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung 40132, Indonesia

13517139@std.stei.itb.ac.id

Abstrak—Di Indonesia batu bara menjadi salah satu komoditas yang sangat menjanjikan. Hal ini karena batu bara masih menjadi sumber energi utama dalam memproduksi listrik di Indonesia. Aktivitas distribusi batu bara pun menjadi perhatian berbagai pihak terutama para pemerhati lingkungan yang dibuat resah karena aktivitas distribusi batu bara yang umumnya menggunakan kapal tongkang tersebut membahayakan ekosistem laut. Salah satu dampak dari aktivitas distribusi batu bara tersebut dapat terlihat dalam kasus terumbu karang di Karimunjawa. Aktivitas tongkang yang parkir tanpa izin di area Taman Nasional Karimunjawa berdampak pada kerusakan terumbu karang akibat jangkar kapal ataupun kapal yang rusak mesin hingga terbawa naik ke terumbu karang. Kapal tongkang sendiri seharusnya tidak boleh memasuki taman hukum terkait ini masih sangat lemah dan terkesan tidak dipedulikan. Dari hal inilah upaya pencegahan coba dilakukan dengan pemanfaatan algoritma A Star dalam menentukan jalur kapal tongkang batu bara agar tidak lagi memasuki Kawasan Taman Nasional Karimunjawa ataupun kawasan konservasi lainnya. Algoritma A Star digunakan untuk menentukan jalur optimum untuk kapal tongkang dengan memerhatikan pula lokasi konservasi yang mungkin dilalui.

Kata kunci—tongkang, batu bara, Karimunjawa, terumbu karang, jalur, A star

I. PENDAHULUAN

Sekarang ini kebutuhan terhadap listrik menjadi sangat penting bagi masyarakat Indonesia. Produksi listrik Indonesia saat ini sebagian besar masih bergantung pembangkit-pembangkit listrik bertenaga uap yang memanfaatkan batu bara sebagai sumber energi utamanya. Penggunaan batu bara menjadi sumber energi utama bagi pembangkitan listrik dikarenakan batu bara harganya relatif lebih murah daripada sumber energi pembangkit listrik yang lain sehingga listrik yang diproduksi pun menjadi lebih terjangkau. Batu bara itu sendiri didapatkan dari tambang-tambang yang ada di seluruh wilayah Indonesia misalnya, Kalimantan, Sumatera, dan Papua. Batu bara yang dihasilkan tambang-tambang tersebut kemudian didistribusikan menuju pembangkit listrik bertenaga uap di seluruh Indonesia dari yang berskala kecil dengan kapasitas dibawah 100 MW hingga yang berskala besar dengan kapasitas 1 GW. Distribusi tersebut utamanya melalui jalur laut dengan

menggunakan kapal-kapal tongkang atau kapal khusus pengangkut batu bara lainnya.

Kapal-kapal tongkang batu bara dalam melakukan perjalanan seringkali menemui berbagai masalah seperti kehabisan bahan bakar, mesin yang rusak, atau kendala cuaca yang memaksa kapal tersebut parkir sebelum sampai ke tujuan. Untuk parkir kapal sendiri dibutuhkan perairan yang tenang agar kapal tidak terombang-ambing oleh gelombang laut. Salah satu yang sering menjadi tempat parkir kapal tongkang batu bara adalah kawasan utara Pulau Jawa yakni Kepulauan Karimunjawa. Bahkan pernah ada 70 tongkang terparkir di Karimunjawa. Hal ini pun menimbulkan permasalahan karena kawasan Karimunjawa merupakan kawasan Taman Nasional yang dilindungi sehingga kapal tongkang tidak boleh memasuki kawasan tersebut. Buntut dari parkirnya tongkang di Karimunjawa adalah kerusakan besar pada terumbu karang yang ada disana. Penyebabnya mulai dari jangkar kapal yang menimpa terumbu karang hingga kapal yang terseret hingga menaiki terumbu karang akibat mesin yang rusak. Upaya yang dilakukan untuk menangani hal ini kerap kali dilakukan dengan pengusiran kapal tongkang batu bara dari kawasan konservasi oleh Patroli TN Karimunjawa ataupun oleh relawan lingkungan.



Gambar 1.1 Kapal Patroli TN Karimunjawa mengusir tongkang batu bara dari kawasan konservasi TN Karimunjawa. (Sumber: <https://www.mongabay.co.id/2018/09/23/tongkang-batubara-parkir-di-karimunjawa-rusak-terumbu-karang/>)

Berangkat dari hal ini, penulis memiliki gagasan pemanfaatan algoritma A Star untuk membantu dalam menentukan jalur yang optimum menuju dermaga tujuan kapal tongkang serta untuk menghindari kapal tongkang melintasi kawasan terlarang seperti TN Karimunjawa, dengan lebih spesifik pada kapal tongkang yang berasal dari *Balikipapan Coal Terminal (BCT)* sebagai salah satu pelabuhan khusus batu bara terbesar di Indonesia yang berlokasi di Balikpapan, Kalimantan Timur.

II. DASAR TEORI

A. Graf

Graf adalah himpunan titik, simpul, atau sudut yang dihubungkan oleh garis atau sisi. Suatu graf G dapat didefinisikan sebagai pasangan himpunan,

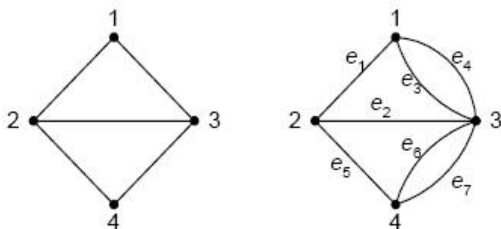
$$G = (V, E)$$

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

$$E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$$

dalam hal ini V adalah himpunan titik, simpul, atau sudut yang tak kosong dan E adalah himpunan garis atau sisi yang menghubungkan sepasang simpul yang mungkin kosong. Hal ini karena tak selalu ada sisi yang menghubungkan ke suatu titik.

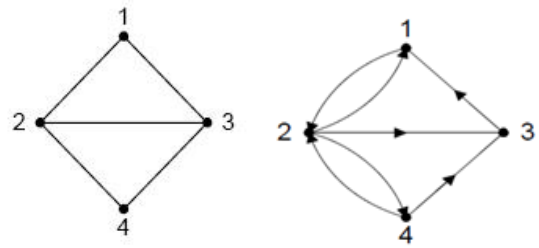
Graf dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok tergantung informasi yang dibutuhkan dari graf tersebut. Berdasarkan ada tidaknya sisi ganda -sisi ganda adalah saat sepasang simpul dihubungkan oleh dua sisi, suatu graf dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu graf sederhana (*simple graph*) dan graf tak sederhana (*unsimple graph*). Graf sederhana adalah graf yang tidak memiliki sisi ganda ataupun gelang. Sedangkan graf tak sederhana adalah graf yang memiliki sisi ganda atau gelang pada graf tersebut.



Gambar 2.1 Graf sederhana dan graf tak sederhana.

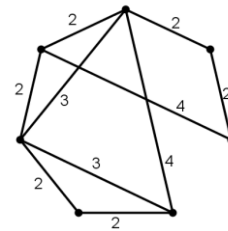
Sisi-sisi graf yang menghubungkan simpul-simpul dapat pula memiliki arah atau orientasi. Maka atas dasar ini, graf dapat dikelompokkan berdasarkan arah atau orientasi sisi-sisinya menjadi graf tak berarah (*undirected graph*) dan graf berarah (*directed graph*). Graf tak berarah adalah graf yang sisi-sisinya tidak memiliki orientasi arah. Dan graf berarah adalah graf yang sisi-sisinya memiliki orientasi arah. Graf tak berarah dapat digunakan untuk merepresentasikan rangkaian listrik, rantai makanan ekosistem, dan ikatan kimia. Graf

berarah dapat diaplikasikan pada pemetaan lajur jalan, rute perjalanan dan lain sebagainya.



Gambar 2.2 Graf tak berarah dan graf berarah.

Adapula graf berbobot yang pada sisi-sisinya memiliki bobot yang merepresentasikan informasi dari sisi tersebut. Informasi ini dapat berupa jarak yang dibutuhkan dari simpul satu ke simpul lain ataupun waktu tempuh. Jenis graf ini seringkali dimanfaatkan pada gambaran peta sederhana yang memberi informasi jarak antardaerah atau antarkota. Contoh dari graf berbobot adalah sebagai berikut.



Gambar 2.3 Graf berbobot

B. Algoritma A Star (A^*)

Algoritma A Star yang termasuk golongan *informed search algorithm* adalah algoritma pencarian rute terpendek (*shortest path*) yang merupakan perbaikan dari algoritma *Best-First Search* (BFS) dengan memodifikasi fungsi heuristiknya untuk memberikan hasil yang optimum. Algoritma A^* menggabungkan fungsi jarak (*cost*) dan fungsi heuristik dari sebuah penelusuran. Algoritma ini ditemukan oleh Nils Nilsson, Peter Hart, dan Bertram Raphael dari Stanford Research Institute yang dipublikasikan pertama kali pada tahun 1968. Algoritma A^* dapat diterapkan pada graf berbobot karena A^* memerlukan fungsi jarak dan fungsi heuristik yang didapat dari bobot sisi.

Algoritma A^* diformulasikan atas fungsi jarak ditambahkan dengan fungsi heuristik untuk mendapatkan *cost* optimum dari titik awal hingga sampai pada tujuan. Fungsi heuristik ini sendiri adalah nilai perkiraan untuk sebuah simpul mencapai simpul tujuan, semakin baik atau semakin buruk. Formulasi algoritma A^* dapat dituliskan dalam secara matematis sebagai berikut,

$$F(x) = g(x) + h(x)$$

dalam hal ini $g(x)$ adalah jarak atau *cost* yang dibutuhkan dari satu simpul ke simpul lain, dapat berupa jarak atau waktu tempuh atau semacamnya, dan $h(x)$ adalah fungsi heuristik

yang merupakan perkiraan untuk sebuah simpul terhadap kecenderungannya mendekati titik tujuan. Terlihat bahwa nilai dari formula algoritma A* adalah penjumlahan *cost* dan fungsi heuristiknya. Nilai formula inilah yang nantinya digunakan untuk menentukan simpul yang akan dibangkitkan sebagai solusi dari permasalahan.

Dalam algoritma A*, fungsi heuristik berguna untuk menghindari ekspansi menuju simpul yang memiliki *cost* yang tinggi. Kompleksitas waktu algoritma A* adalah $O(bm)$. Berikut adalah contoh algoritma A*,

```

Function reconstruct_path(cameFrom, current)
    total_path := {current}
    while current in cameFrom.Keys:
        current := cameFrom[current]
        total_path.append(current)
    return total_path

function A_Star(start, goal)
    closedSet := {} // himpunan simpul ekspan
    openSet := {start} // himpunan simpul hidup

    // petakan simpul
    cameFrom := an empty map

    // cost tiap simpul, inisiasi dg tak hingga
    gScore := map with default value of Infinity

    // inisiasi cost dari titik awal dg 0
    gScore[start] := 0

    // formulasi tiap simpul, init dg tak hingga
    fScore := map with default value of Infinity

    // estimasi heuristic dari simpul awal ke akhir
    fScore[start] := heuristic_estimate(start, goal)

    // looping hingga tidak ada simpul hidup
    while openSet is not empty

        // pilih simpul dengan nilai heuristic terkecil
        current := node in openSet having the lowest
        fScore[] value

        // cek akhir
        if current = goal
            return reconstruct_path(cameFrom, current)

        // hilangkan current dari openSet
        openSet.Remove(current)

        // tambahkan current ke closeSet
        closedSet.Add(current)

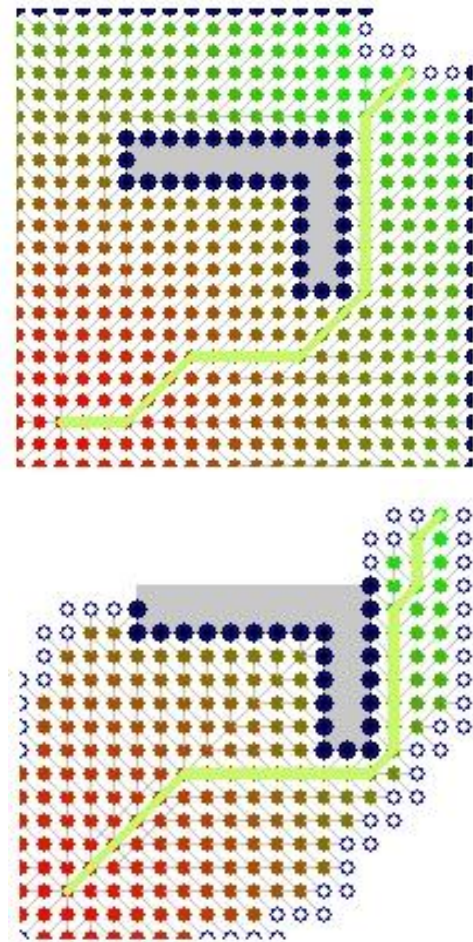
        // cek tetangga simpul current
        for each neighbor of current
            if neighbor in closedSet
                continue
            tentative_gScore := gScore[current] +
            dist_between(current, neighbor)
            if neighbor not in openSet
                // menemukan simpul baru
                openSet.Add(neighbor)
            else if tentative_gScore >= gScore[neighbor]
                continue

            // simpan jalur
            cameFrom[neighbor] := current
            gScore[neighbor] := tentative_gScore
            fScore[neighbor] := gScore[neighbor] +
            heuristic_estimate(neighbor, goal)

    return cameFrom
    
```

Sebagai gambaran, pencarian rute terpendek dengan algoritma A* akan menghasilkan penelusuran yang mengarah

pada simpul tujuan berbeda dengan Dijkstra yang menyevaluasi hampir semua simpul. Gambaran perbandingan dengan algoritma Dijkstra dapat dilihat dari gambar berikut ini,



Gambar 2.4 Algoritma Dijkstra(atas) dan Algoritma A*(bawah)

(Sumber : <https://medium.com/@nicholas.w.swift/easy-a-star-pathfinding-7e6689c7f7b2>)

Tampak pada gambar di atas bahwa algoritma A* lebih efektif dan efisien daripada algoritma Dijkstra dalam menentukan rute terpendek dari suatu simpul. Hal ini terjadi karena pengaruh dari fungsi heuristik yang membuat algoritma A* tidak perlu menelusuri simpul yang relatif menjauhi tujuan.

C. Taman Nasional Karimunjawa

Sebagai objek dari penulisan makalah ini, perlu diterangkan Taman Nasional (TN) Karimunjawa sebagai kawasan yang dilindungi keberadaannya. Taman Nasional Karimunjawa merupakan gugusan kepulauan yang terdiri dari 22 pulau yang terletak di utara Pulau Jawa. Taman Nasional Karimunjawa memiliki luas 111.625 ha yang meliputi daratan pulau dan perairan di sekitarnya. Taman Nasional Karimunjawa ditetapkan sebagai Cagar Alam Laut melalui Surat Keputusan (SK) Menteri Kehutanan No. 123/Kpts-

II/1986 yang kemudian pada tahun 1999 melalui Surat Keputusan Menhutbun No. 78/Kpts-II/1999 diubah menjadi Taman Nasional Karimunjawa. Pada tahun 2001, TN Karimunjawa seluas 110.117,30 ha ditetapkan sebagai Kawasan Pelestarian Alam Perairan melalui Surat Keputusan Menhut No. 74/Kpts-II/2001.

Saat ini Taman Nasional Karimunjawa dikelola oleh Balai Taman Nasional Karimunjawa. Balai Taman Nasional Karimunjawa memiliki tugas utama dalam pelaksanaan pengelolaan ekosistem Taman Nasional Karimunjawa. Pengelolaan Taman Nasional Karimunjawa bukan menghadapi berbagai masalah mulai dari *overfishing* hingga parkir tanpa izin kapal-kapal tongkang batu bara. Yang menjadi focus pada makalah ini adalah masalah yang ditimbulkan kapal tongkang batu bara terhadap pelestarian ekosistem laut di Karimunjawa

III. PEMBAHASAN

Pengaplikasian algoritma A* dalam menentukan jalur tongkang batu bara untuk mencegah kerusakan terumbu karang di Taman Nasional Karimunjawa dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan-tahapannya antara lain, persiapan graf rute kapal tongkang yang dalam kasus ini simpul awalnya adalah *Balikapapan Coal Terminal*, dan penerapan algoritma A* pada graf yang telah disiapkan, serta prospek di waktu mendatang terhadap penerapan algoritma A* tersebut.

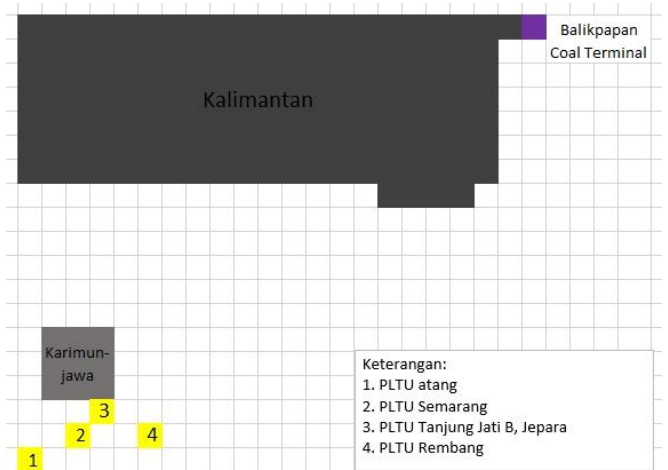
A. Persiapan Graf Rute Kapal Tongkang Batu Bara

Rute perjalanan yang akan dimodelkan dalam bentuk graf pada bagian ini adalah rute perjalanan estimasi dari *Balikapapan Coal Terminal* (BCT) di Balikpapan, Kalimantan Timur menuju PLTU – PLTU yang berada di sekitar Kepulauan Karimunjawa yakni PLTU yang berada di Jawa Tengah bagian utara. PLTU tujuan tongkang dari BCT tersebut diantaranya, PLTU Tanjung Jati B di Jepara, PLTU Semarang PLTU Rembang, dan PLTU Batang. Berikut gambaran peta yang didapat dari Google Maps yang meliputi Kepulauan Karimunjawa dan PLTU di sekitarnya.



Gambar 3.1 Peta Karimunjawa dan PLTU di dekatn (Sumber: Google Maps)

Pemodelan peta di atas menjadi graf dilakukan dengan menerapkan grid hingga menjangkau BCT. Gambar di bawah ini adalah pemodelan dengan graf dengan kotak kosong adalah simpul yang dapat dilalui,



Gambar 3.2 Model Graf Peta Karimunjawa.

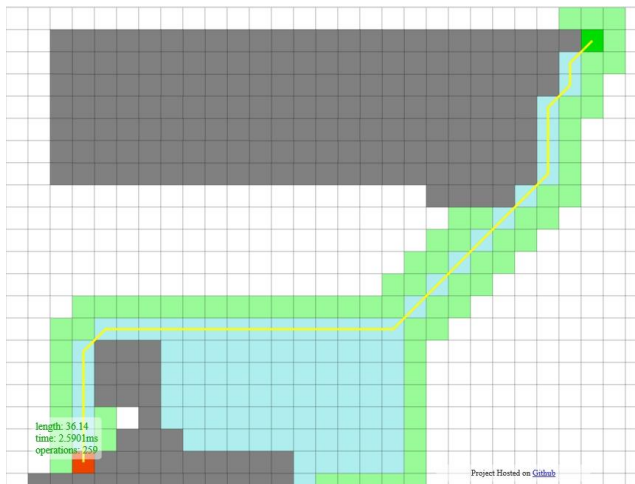
Pemodelan tersebut nanti digunakan sebagai bahan percobaan dalam menentukan jalur kapal tongkang batu bara.

B. Penerapan Algoritma A*

Dalam penerapan algoritma A* yang digunakan untuk menentukan jalur, beberapa asumsi diterapkan. Asumsi yang diterapkan pada penentuan jalur ini antara lain,

- Simpul awal rute ada di BCT.
- Simpul tujuan adalah PLTU-PLTU yang berada di sekitar Taman Nasional Karimunjawa.
- Rute yang diperhatikan hanya rute yang ada pada model graf.
- Rute yang dapat dilalui direpresentasikan dengan kotak kosong pada model graf.
- Algoritma A* yang digunakan adalah algoritma A* umum untuk menemukan rute terdekat.
- Perairan Karimunjawa direpresentasikan sebagai area yang tidak dapat dilalui oleh kapal.

Setelah algoritma A* siap diterapkan, selanjutnya adalah penentuan jalur terpendek yang tidak melintasi Karimunjawa. Model graf yang sudah dibuat kemudian dibaca program. Dari pembacaan ini, kemudian dilakukan algoritma A* sehingga mendapatkan rute yang terpendek dan sesuai harapan. Berikut adalah hasil dari penerapan algoritma A* dari BCT menuju PLTU Batang.

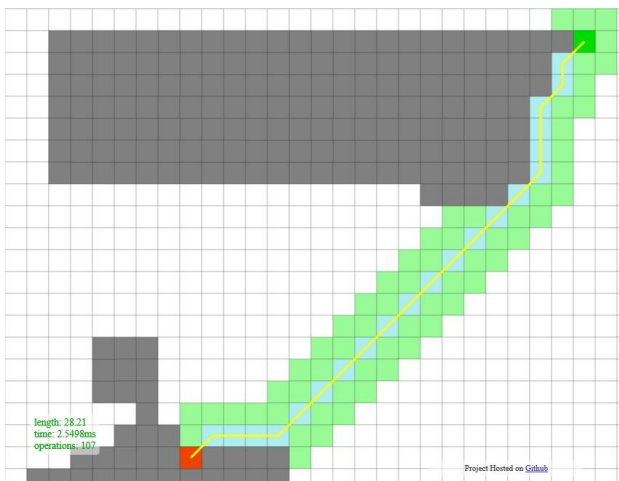


Gambar 3.3 Rute perjalanan yang didapatkan dengan algoritma A* dari BCT menuju PLTU Batang.

(Sumber: <https://qiao.github.io/PathFinding.js/visual/>)

Dari gambar tersebut tampak bahwa, algoritma A* mulai menelusuri dengan turun ke bawah dan disertai diagonal agar yang ditempuh optimum, akan tetapi menemui ujung sehingga dilakukan penelusuran kembali hingga menemukan jalur yang paling tepat di utara Karimunjawa.

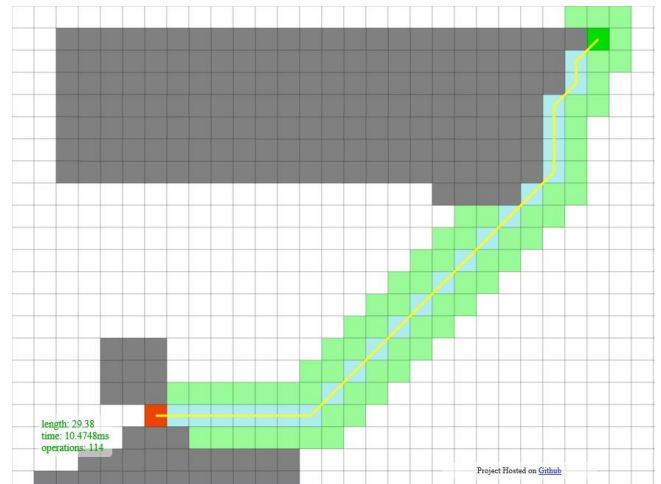
Untuk perbandingan, penulis juga melakukan percobaan dengantujuan akhir PLTU Rembang. Hasil penelusuran rute terpendek dengan algoritma A* dari BCT menuju PLTU Rembang seperti pada gambar di bawah ini,



Gambar 3.4 Rute perjalanan yang didapatkan dengan algoritma A* dari BCT menuju PLTU Rembang.

(Sumber: <https://qiao.github.io/PathFinding.js/visual/>)

Hasil penelusuran dengan algoritma A* dari *Balickpapan Coal Terminal* menuju PLTU Tanjung Jati B, Jepara dapat dilihat pada gambar di bawah ini,



Gambar 3.5 Rute perjalanan yang didapatkan dengan algoritma A* dari BCT menuju PLTU Tanjung Jati B, Jepara.

(Sumber: <https://qiao.github.io/PathFinding.js/visual/>)

Dari penerapan pada tiga kasus yang ada, algoritma A* mampu memberikan rute terpendek dari simpul awal menuju simpul tujuan sesuai harapan yakni tidak melalui perairan Karimunjawa.

C. Prospek Pengembangan Program di Masa Mendatang

Pengembangan program ini bertujuan agar membantu semua pihak yang terlibat dalam distribusi batu bara di Indonesia. Untuk pihak distributor, harapannya dapat membantu mengarahkan distribusi agar efisien sehingga mengoptimasi biaya yang dikeluarkan serta dapat meningkatkan kepedulian terhadap lingkungan. Untuk pihak penegak hukum atau pemerhati lingkungan, dapat menjadi program yang dapat memberikan peringatan bila ada pelanggaran yang dilakukan pengendara kapal tongkang batu bara.

Program ini harapannya dapat diterapkan pada navigasi kapal sehingga dapat membantu menentukan jalur terdekat sehingga dapat mengefisienkan biaya yang dikeluarkan. Program ini juga dapat diintegrasikan dengan sistem peringatan kepada penegak hukum terdekat sehingga *monitoring* kawasan konservasi dapat lebih baik lagi.

Program ini pada dasarnya bukan menjadi program utama untuk navigasi kapal ataupun sistem peringatan melainkan untuk program pembantu untuk navigasi ataupun peringatan dini.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Penerapan algoritma A* dalam kasus ini yakni menentukan jalur kapal tongkang untuk mencegah kerusakan pada terumbu karang atau biota laut lainnya di perairan Karimunjawa sangat memungkinkan untuk diterapkan. Hal ini penting karena saat mengalami kerusakan, terumbu karang memerlukan waktu yang sangat lama untuk pulih kembali.

Simpulannya, kasus yang dibahas dalam kasus ini dapat diselesaikan dengan baik.

B. Saran

Saran yang dapat Penulis sampaikan adalah lakukan percobaan lebih banyak untuk mendapat data yang lebih banyak serta kasus yang lebih beragam agar hasil yang didapat pula lebih valid.

UCAPAN TERIMAKASIH

Rasa syukur yang sebesar-besarnya atas limpahan rahmat dari Allah SWT sehingga Penulis dapat menyelesaikan makalah ini dengan baik untuk memenuhi tugas mata kuliah IF2211 Strategi Algoritma yang diikuti oleh Penulis. Penulis berterimakasih kepada Dr. Nur Ulfa Maulidevi, S.T, M.Sc. yang telah membimbing penulis dalam penulisan makalah ini melalui perkuliahan Strategi Algoritma. Penulis mengucapkan terimakasih kepada pembuat film "Sexy Killer" yang oleh Penulis dijadikan sebagai inspirasi penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang berperan dalam penyusunan makalah ini. Harapan Penulis adalah gagasan ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan niat baik menjaga ekosistem laut Indonesia.

REFERENSI

- [1] Munir, Rinaldi, 2009, Matematika Diskrit, Bandung: Informatika.
- [2] Munir, Rinaldi, 2009, Diktat Kuliah IF2211 Strategi Algoritma, Bandung: Informatika

- [3] Apriando, Tommy. 2019. "Peta Laut Tegaskan Pelestarian Terumbu Karang Karimun Jawa" <https://www.mongabay.co.id/2019/01/06/peta-laut-tegaskan-pelestarian-terumbu-karang-karimun-jawa/>, diakses pada 25 April 2019 pukul 22.52.
- [4] Apriando, Tommy. 2018. "Tongkang Batu Bara Parkir di Karimunjawa Rusak Terumbu Karang" <https://www.mongabay.co.id/2018/09/23/tongkang-batubara-parkir-di-karimunjawa-rusak-terumbu-karang/>, diakses pada 25 April 2019 pukul 22.59.
- [5] Syahni, Della. 2019. "Sexy Killer, Ketika Industri Batubara Hancurkan Lingkungan dan Ruang Hidup Warga" <https://www.mongabay.co.id/2019/04/16/sexy-killer-ketika-industri-batubara-hancurkan-lingkungan-dan-ruang-hidup-warga/>, diakses pada 25 April 2019 pukul 23.12.
- [6] Apriando, Tommy. 2018. "Bersama Rainbow Warrior: Mereka Usir Tongkang Batubara dari Taman Nasional Karimun Jawa" <https://www.mongabay.co.id/2018/05/06/bersama-rainbow-warrior-mereka-usir-tongkang-batubara-dari-taman-nasional-karimun-jawa/>, diakses pada 25 April 2019 pukul 23.19.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 26 April 2019



Syaiful Anwar
13517139