

Strategi Rute UAV untuk Pengantaran Obat-obatan bagi Penderita Covid-19 saat Isolasi Mandiri dengan Algoritma Cheapest Link & Sirkuit Hamilton

Leonard Matheus Wastupranata - 13519215¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

¹13519215@std.stei.itb.ac.id

Abstrak—Pandemi Covid-19 menjadi musibah yang tidak dapat dihindarkan. Banyak penderita Covid-19 yang harus melakukan isolasi mandiri di kediaman masing-masing. Akan tetapi, akses yang sulit telah menghambat distribusi obat-obatan dari rumah sakit terdekat. Makalah ini bertujuan untuk mencari rute terpendek bagi UAV agar dapat mengantar obat-obatan dengan waktu yang cepat dan jarak seminimal mungkin. Metode yang digunakan adalah penerapan Sirkuit Hamilton dengan pendekatan Algoritma Cheapest Link sehingga jarak antar rumah dapat terjangkau tanpa diabaikan sedikit pun. Simulasi terbang dilakukan menggunakan Software in The Loop (SITL) dan ArduPilot Mission Planner. Hasil yang didapatkan yakni rute yang dibuat menggunakan Algoritma Cheapest Link memiliki efisiensi rata-rata 66,86% lebih baik dari sirkuit Hamilton lainnya yang terbentuk pada graf yang sama.

Kata Kunci— UAV, Algoritma Cheapest Link, Graf, Sirkuit Hamilton

I. PENDAHULUAN

Tahun 2020 menjadi tahun yang unik dan tak terlupakan dari sejarah dunia. Pandemi Covid-19 telah menjangkit puluhan juta warga dunia dan menimbulkan banyak korban jiwa. Berbagai keperluan logistik dan obat-obatan harus disalurkan kepada penderita covid-19 secepat mungkin. Isolasi mandiri harus dilakukan agar rantai penyebaran covid-19 dapat dengan cepat terputus.

Permasalahan yang muncul adalah banyaknya pasien yang melakukan isolasi mandiri akibat kapasitas ruang rawat rumah sakit yang sudah penuh atau permasalahan akses yang terbatas. Diperlukan media pengantaran obat bagi pasien covid-19 yang melakukan isolasi mandiri di rumah masing-masing. Media yang digunakan adalah UAV (Unmanned Aerial Vehicle) alias pesawat nirawak yang bisa disebut *drone*.

Metode penentuan rute terbang drone memiliki beragam alternatif algoritma pilihan seperti Algoritma Cheapest Link, Algoritma Dijkstra, Algoritma Prime, dan lainnya. Suwatno[1] telah melakukan riset tentang bagaimana penentuan rute terbang yang tercepat dilakukan dengan menggunakan Algoritma Dijkstra sebagai input penyusun graf rute yang akan dibuat. Sayangnya, metode yang ada belum maksimal untuk mengatur pengantaran obat-obatan yang efektif dan cepat. Selain itu, Algoritma ini belum terspesifikasi untuk melakukan kunjungan ke semua titik sehingga belum mampu menjangkau rumah-rumah isolasi mandiri bagi penderita covid-19.

Untuk itu, makalah ini bertujuan untuk mengaplikasikan teori pencarian rute terpendek dengan menggunakan Algoritma Cheapest Link untuk menyesuaikan rute pengantaran obat dalam meningkatkan efisiensi rute terbang dan menghindari keterlambatan penanganan pasien covid-19. Selain itu, pengaplikasian teori graf diharapkan memberikan dampak besar agar penyebaran bantuan logistik obat-obatan mampu menjangkau rumah warga yang sulit dijangkau dan memiliki akses terbatas.

Makalah ini terbagi menjadi 5 bagian besar yaitu pendahuluan, dilanjutkan dengan studi literatur yang menyajikan dasar teori dan formula. Kemudian akan disajikan metode beserta hasil & pembahasan algoritma rute terbang yang efektif. Terakhir, berupa kesimpulan dan bagian saran untuk peneliti selanjutnya.

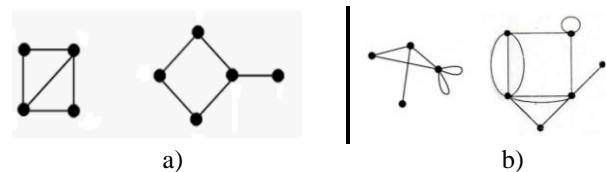
II. STUDI LITERATUR

A. Teori Graf

A.1. Definisi Graf

Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Menurut definisi, Graf $G = (V, E)$, yang dalam hal ini, V adalah = himpunan tidak-kosong dari simpul-simpul $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, sedangkan E adalah himpunan sisi yang menghubungkan sepasang simpul $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$.

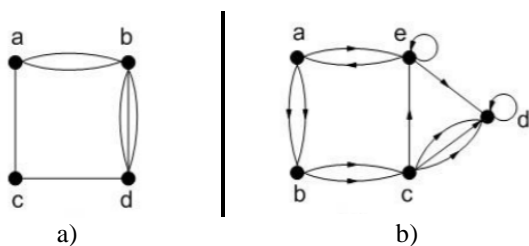
Berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu graf, maka graf digolongkan menjadi dua jenis, yaitu Graf Sederhana dan Graf tidak sederhana. Graf Sederhana adalah graf yang tidak mengandung gelang maupun sisi ganda, sedangkan graf tidak sederhana adalah graf yang memiliki sisi ganda atau gelang.



Gambar 1. Ilustrasi Graf Sederhana (a) dan Graf Tidak Sederhana (b)

Sumber: <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>, diakses pada 04/12/2020

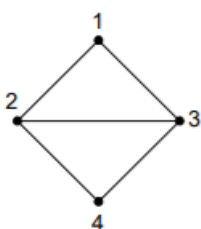
Berdasarkan orientasi arah pada sisi suatu graf, maka graf digolongkan menjadi dua jenis, yaitu Graf tak-berarah dan Graf Berarah. Graf tak-berarah adalah graf yang sisinya tidak mempunyai orientasi arah, sedangkan graf berarah adalah graf yang setiap sisinya diberikan orientasi arah.



Gambar 2. Ilustrasi Graf tak-berarah (a) dan Graf berarah (b)
 Sumber: <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>, diakses pada 04/12/2020

A.2. Terminologi Graf

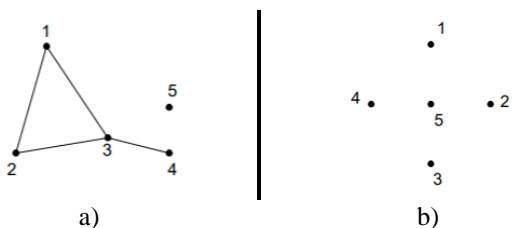
Terdapat beberapa terminologi graf yang mendasari makalah ini. Pertama, dua buah simpul dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung langsung. Selain itu, $e(v_j, v_k)$ dikatakan bahwa e bersisian dengan simpul v_j atau e bersisian dengan simpul v_k .



Gambar 3. Contoh Terminologi Ketetangaan dan Bersisian
 Sumber: <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>, diakses pada 04/12/2020

Pada gambar ini, perhatikan simpul 1. Simpul 1 bertetangga dengan simpul 2 dan 3, tetapi tidak bertetangga dengan simpul 4. Selain itu, sisi (2,3) bersisian dengan simpul 2 dan simpul 3, tetapi sisi (1,2) tidak bersisian dengan simpul 4.

Terminologi berikutnya menjelaskan tentang adanya simpul yang tidak memiliki derajat atau tidak bersisian dengan simpul lainnya. Hal tersebut berbentuk Graf dengan simpul terpercil dan graf kosong. Graf dengan simpul terpercil artinya graf tersebut memiliki suatu simpul yang tidak bersisian dengan simpul lainnya. Selanjutnya, Graf Kosong adalah graf yang himpunan sisinya merupakan himpunan kosong (N_n).



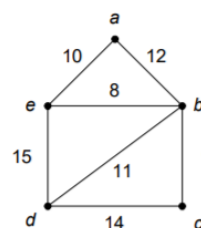
Gambar 4. Ilustrasi Simpul terpercil pada simpul 5 (a) dan Graf Kosong (b)

Sumber: <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>, diakses pada 04/12/2020

Terminologi lainnya yang penting untuk dibahas adalah mengenai Lintasan dan sirkuit. Lintasan yang panjangnya n dari simpul awal v_0 ke simpul tujuan v_n di dalam graf G ialah barisan berselang-seling simpul-simpul dan sisi-sisi yang berbentuk $v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n$ sedemikian sehingga $e_1 = (v_0, v_1)$, $e_2 = (v_1, v_2)$, ..., $e_n = (v_{n-1}, v_n)$ adalah sisi-sisi dari graf G . Pada gambar 4, lintasan 1,2,3,4 adalah lintasan beririsan sisi (1,2), (2,3), dan (3,4). Panjang lintasan tersebut bernilai 3 karena ada 3 buah irisan sisi.

Lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama disebut sirkuit atau siklus. Pada gambar (4), lintasan 1,2,3,1 membentuk sirkuit dan memiliki Panjang 3.

Terminologi Graf yang terakhir yang juga terbilang penting adalah graf berbobot. Graf berbobot adalah graf yang setiap sisinya diberi sebuah harga (bobot). [2]



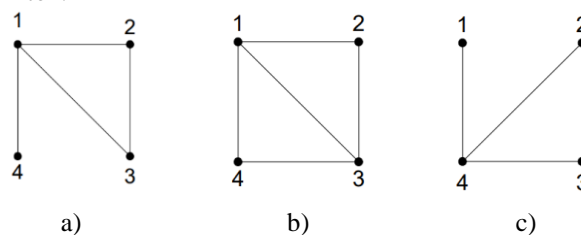
Gambar 5. Ilustrasi Graf Berbobot

Sumber: <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>, diakses pada 04/12/2020

B. Teori Sirkuit Hamilton

B.1. Definisi Sirkuit Hamilton

Lintasan Hamilton ialah lintasan yang melalui tiap simpul di dalam graf tepat satu kali. Sirkuit Hamilton ialah sirkuit yang melalui tiap simpul di dalam graf tepat satu kali, kecuali simpul asal (sekaligus simpul akhir) yang dilalui dua kali. Graf yang memiliki sirkuit Hamilton dinamakan graf Hamilton, sedangkan graf yang hanya memiliki lintasan Hamilton disebut graf semi-Hamilton.



Gambar 6. Contoh Gambar Sirkuit Hamilton

Sumber: <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian3.pdf>, diakses pada 07/12/2020

Terlihat pada **Gambar 6**, untuk gambar bagian (a), Graf tersebut memiliki lintasan Hamilton pada jalur 3-2-1-4. Sedangkan pada gambar bagian (b), graf tersebut memiliki sirkuit Hamilton yang terlihat pada jalur 1-2-3-4-1. Akan tetapi, pada gambar (c), graf tersebut tidak akan pernah membentuk lintasan Hamilton bahkan sirkuit Hamilton.

B.2. Teorema Sirkuit Hamilton

Syarat cukup supaya graf sederhana G dengan $n (\geq 3)$ buah simpul adalah graf Hamilton ialah bila derajat tiap simpul paling sedikit $n/2$ (yaitu, $d(v) \geq n/2$ untuk setiap simpul v di G). Pada **Gambar 6**, terlihat bahwa pada graf (a), $n=4$, tetapi simpul 4

memiliki $d(v) = 1$, sehingga dikatakan bukan graf Hamilton karena hanya memiliki lintasan Hamilton. Pada graf (b), $n = 4$, setiap simpul memiliki $d(v) \geq 2$, sehingga dapat dikatakan sebagai graf Hamilton karena mengandung sirkuit Hamilton di dalamnya.

Dengan pembuktian di atas, dapat dikatakan bahwa setiap graf lengkap adalah graf Hamilton. Selain itu, Teorema lainnya adalah di dalam graf lengkap G dengan n buah simpul ($n \geq 3$), terdapat $(n - 1)!/2$ buah sirkuit Hamilton. Selain itu, di dalam graf lengkap G dengan n buah simpul ($n \geq 3$ dan n ganjil), terdapat $(n - 1)/2$ buah sirkuit Hamilton yang saling lepas (tidak ada sisi yang beririsan). Jika n genap dan $n \geq 4$, maka di dalam G terdapat $(n - 2)/2$ buah sirkuit Hamilton yang saling lepas.

C. Teori Travelling Salesperson Problem (TSP)

C.1. Definisi Travelling Salesman Problem (TSP)

Travelling Salesman Problem (TSP) adalah permasalahan umum dalam optimasi kombinatorial dimana seorang salesman harus mengunjungi sejumlah N kota, disyaratkan setiap kota hanya dikunjungi sekali. Salesman ini harus memilih rute sehingga jarak total yang dia tempuh minimum [3].

Adapun aturan-aturan yang mengidentifikasi bahwa permasalahan tersebut adalah perjalanan dimulai dan diakhiri di kota yang sama sebagai kota asal sales. Selanjutnya, seluruh kota harus dikunjungi tanpa satupun kota yang terlewatkan. Terakhir, Sales tidak boleh kembali ke kota asal sebelum seluruh kota dikunjungi. [4]

C.2. Model Matematika Travelling Salesman Problem (TSP)

Secara matematika, formulasi TSP dapat dinyatakan sebagai suatu graf $G=(V,A)$ dengan $V = \{1,2,3, \dots, n\}$ menyatakan himpunan titik graf yang menunjukkan lokasi titik yang akan dikunjungi dan $A = \{(i, j)|i, j \in V, i \neq j\}$ merupakan himpunan sisi yang menyatakan penghubung antar titik. Titik 1 menyatakan tempat asal. Misalkan $x_{i,j}$ adalah jarak tempuh dari kota i ke kota j dan didefinisikan peubah:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{jika sisi } (i, j) \in A \text{ dilalui oleh rute} \\ 0, & \text{jika sisi } (i, j) \in A \text{ tidak dilalui oleh rute} \end{cases}$$

Formulasi matematis dari TSP adalah sebagai berikut:

$$\text{Minimumkan } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{i,j}$$

Persamaan ini merupakan fungsi yang bertujuan meminimalkan total jarak tempuh. Dengan kendala sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1, i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1, j = 1, 2, \dots, n$$

Kendala di atas bertujuan menunjukkan bahwa UAV mendarangi dan meninggalkan setiap titik tepat satu kali. Sedangkan

$$\sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q} x_{i,j} \geq 1, \forall Q \subset V, Q \neq \emptyset$$

adalah kendala untuk memastikan bahwa tidak terdapat subroute, di mana $Q = \{1, 2, 3, \dots, n\}$. Dan kendala terakhir berikut ini digunakan untuk menjamin bahwa $x_{i,j}$ merupakan peubah biner yaitu $x_{i,j} \in \{0, 1\}$, dimana $i, j = 1, \dots, n$. [5].

D. Teori Algoritma Cheapest Link

D.1. Definisi Algoritma Cheapest Link

Dalam Menyusun sirkuit Hamilton, tentunya bobot pengantaran diusahakan terpendek. Tentunya Algoritma Brute Force dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. Akan tetapi, dalam pencariannya, terdapat $(n-1)!/2$ buah sirkuit Hamilton yang saling lepas pada n genap sehingga hal ini dapat menyebabkan beban kerja yang tidak efektif. Untuk itu, perlu diimplementasikan algoritma yang memiliki kinerja baik sehingga tidak berlama-lama dalam penentuan rute tersebut.

Ada suatu algoritma yang efisien yang bernama Algoritma Cheapest Link. Ide dari Algoritma ini adalah untuk menyusun tur dengan menghubungkan jalur terpisah (yaitu sisi) dari tur berdasarkan bobot sisi tersebut. Algoritma ini tidak memedulikan simpul-simpul yang terhubung terpisah pada awalnya. Akan tetapi, pada akhirnya, apabila penyusunan dilakukan dengan baik, akan terbentuk sirkuit Hamilton terpendek. [6]

D.2. Cara Kerja Algoritma Cheapest Link

Menurut Gregory J. Pottie [7], terdapat tiga langkah dalam menentukan rute menggunakan Algoritma Cheapest Link, yakni:

1. Pilihlah sisi dengan bobot terkecil, Tandai sisi tersebut.
2. Pilih sisi dengan bobot terkecil berikutnya, dengan syarat:
 - a. Sisi tersebut tidak membentuk sirkuit baru
 - b. Hasil Sisi setelah ditandai pada suatu simpul bukan merupakan simpul ketiga. Atau dengan kata lain, suatu simpul tidak boleh memiliki lebih dari dua sisi yang ditandai.
3. Ulangi Langkah ke 2 sampai terbentuk sirkuit Hamilton (Semua simpul telah dikunjungi dan ditandai).

III. METODE

A. Persiapan Perencana Rute (Mission Planner)



Gambar 7. Kondisi sampel rumah isolasi mandiri yang memiliki akses terbatas

Untuk membuat rute penerbangan *drone* pengantar obat-obatan, wilayah pengantaran obat perlu didefinisikan. HOME

didefinisikan berawal dari Rumah Sakit Hasan Sadikin Bandung (Pin 1 & 14). Lokasi Hasan Sadikin Bandung berada pada angka Latitude -6,896413 derajat dengan angka Longitude sebesar 107,59 derajat. Simulasi terbang akan dilakukan menggunakan Software in the Loop (SITL) dengan Pustaka Ardupilot dan Mission Planner versi 1.3.74.

Wahana harus memulai misi dari HOME dan kembali mendarat di HOME ketika misi usai. Pin hijau adalah tempat wahana harus meletakkan barang kiriman berupa obat-obatan. Drone juga harus mampu mengantar barang ke seluruh titik hijau yang telah ditentukan dengan cepat dan efisien. Seluruh titik yang ditentukan wajib dikunjungi dengan cara apapun.

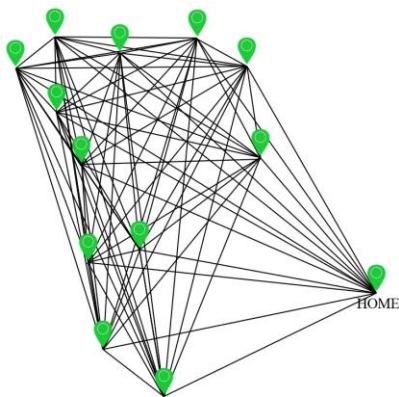
Dari syarat-syarat yang harus dipenuhi, graf harus terbentuk terlebih dahulu, kemudian menentukan waypoint yang akan digunakan menggunakan perhitungan.

B. Pembentukan Graf Berbobot



Gambar 8. Kondisi peta sampel rumah setelah dilengkapi graf

Bobot yang ada dihitung menggunakan fitur GPS Map Tools yang ada pada ardupilot. Ukuran pada makalah ini sudah disesuaikan dengan skala peta yang ada. Graf akhir yang terbentuk adalah graf lengkap dengan derajat yang konsisten pada masing-masing simpul, yaitu berjumlah 12 derajat. Graf lengkap menjadi pilihan utama karena graf lengkap merupakan salah satu syarat terbentuknya sirkuit Hamilton.



Gambar 9. Graf berbobot Akhir

Sebagai catatan tambahan, simpul ke 14 pada makalah ini (untuk simpul pendaratan) memiliki tempat yang sama dengan HOME, sehingga penulisan simpul cukup diwakilkan sebagai

HOME. Berikut ini disajikan tabel jarak dari waypoint satu dengan lainnya dalam satuan meter.

Tabel 1. Daftar Jarak antar waypoint (WP) yang merepresentasikan graf berbobot dalam satuan meter

Sisi (Node ke Node)	Jarak (meter)	Sisi (Node ke Node)	Jarak (meter)	Sisi (Node ke Node)	Jarak (meter)
HOME – 2	217,00	3 – 7	215,09	6 – 9	115,89
HOME – 3	247,43	3 – 8	259,10	6 – 10	103,71
HOME – 4	258,50	3 – 9	279,92	6 – 11	152,82
HOME – 5	215,81	3 – 10	263,55	6 – 12	171,04
HOME – 6	289,18	3 – 11	285,35	6 – 13	158,90
HOME – 7	331,66	3 – 12	284,79	7 – 8	52,40
HOME – 8	382,85	3 – 13	218,32	7 – 9	66,41
HOME – 9	369,99	4 – 5	48,80	7 – 10	73,95
HOME – 10	317,89	4 – 6	84,32	7 – 11	142,12
HOME – 11	278,98	4 – 7	139,54	7 – 12	174,01
HOME – 12	235,17	4 – 8	185,84	7 – 13	188,41
HOME – 13	169,00	4 – 9	205,91	8 – 9	45,80
2 – 3	70,6	4 – 10	192,01	8 – 10	97,67
2 – 4	135,02	4 – 11	221,13	8 – 11	166,86
2 – 5	136,49	4 – 12	228,89	8 – 12	207,51
2 – 6	226,21	4 – 13	180,37	8 – 13	236,34
2 – 7	279,49	5 – 6	93,30	9 – 10	61,00
2 – 8	323,14	5 – 7	145,60	9 – 11	126,89
2 – 9	337,54	5 – 8	197,38	9 – 12	173,09
2 – 10	311,93	5 – 9	205,87	9 – 13	213,72
2 – 11	321,40	5 – 10	175,33	10 – 11	69,00
2 – 12	309,43	5 – 11	192,18	10 – 12	110,78
2 – 13	231,63	5 – 12	190,16	10 – 13	160,56
3 – 4	77,30	5 – 13	215,56	11 – 12	49,80
3 – 5	93,00	6 – 7	51,60	11 – 13	117,74
3 – 6	166,19	6 – 8	102,69	12 – 13	83,70

C. Pengisian Tabel dengan Algoritma Cheapest Link

Alasan mengapa algoritma Cheapest Link dipilih karena pada pengaplikasiannya, titik yang ditentukan wajib dikunjungi dan tidak boleh mengabaikan satu titik pun. Rute terbang yang baru akan dibuat menggunakan algoritma Cheapest Link sesuai dengan iterasi jalur terpendek. Pengisian Tabel iterasi akan ditampilkan di bawah ini.

Tabel 2. Tabel iterasi penentuan rute dengan Algoritma Cheapest Link

6	217													
3	247	71												
4	259	135	77											
5	216	136	93	49										
6	289	226	166	84	93									
7	332	279	215	140	146	52								
8	383	323	259	186	197	103	52							
9	370	338	280	206	206	116	66	46						
10	318	312	264	192	175	104	74	98	61					
11	279	321	285	221	192	153	142	167	127	69				
12	235	309	285	229	190	171	174	208	173	111	50			
13	169	232	218	180	216	159	188	236	214	161	118	84		
WP	1/14	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		

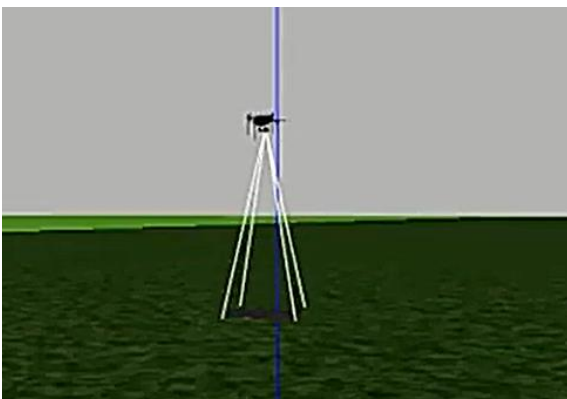
Dari Tabel 2, terlihat bahwa masing-masing simpul maksimal hanya memiliki 2 sisi yang berkorespondensi. Hal tersebut ditunjukkan dengan pewarnaan kuning pada simpul yang ditandai sebagai rute final. Dengan cara lain, penyusunan tabel dapat dilakukan dengan membuat suatu simpul maksimal hanya memiliki dua derajat saja. Dengan begitu, waypoint dapat disusun sedemikian rupa hingga terbentuk seperti pada Gambar 11.



Gambar 10. Graf berbobot setelah dilakukan penyusunan

D. Environment Pendukung Simulasi

Program akan dijalankan pada Sistem Operasi Ubuntu versi 18.04 karena sebagian besar aplikasi akan dijalankan pada lingkungan Linux. Untuk Visualisasi, digunakan aplikasi Gazebo sehingga perilaku terbang UAV dapat terlihat. UAV tersebut akan terbang mengikuti jarak yang ada pada GPS sehingga visualisasi waypoint yang dilewati dapat terlihat dengan baik.



Gambar 11. Tampilan Drone lewat aplikasi Gazebo secara *realtime*

IV. HASIL & PEMBAHASAN

A. Hasil

Telah dilakukan 2 set percobaan pengantaran obat-obatan menuju rumah warga yang aksesnya sulit terjangkau seperti yang terlihat pada peta. Pada percobaan pertama, digunakan rute

penerbangan UAV yang tidak mengikuti kaidah Cheapest Link dan hanya mementingkan pengantaran telah sampai di semua titik tujuan. Sedangkan pada percobaan kedua, rute UAV disusun menggunakan Algoritma Cheapest Link yang akan dijelaskan pada bagian berikutnya.



Gambar 12. Graf berbobot tanpa menggunakan algoritma cheapest link (Percobaan 1)

Setelah melakukan misi terbang dan berhasil kembali ke titik awal yaitu Rumah Sakit Hasan Sadikin Bandung, didapatkan hasil yaitu UAV telah terbang selama 9 menit 27 detik diukur sejak UAV melakukan *takeoff* hingga *landing*. Jarak yang ditempuh sebesar 1.678 meter (asumsi hanya dihitung ketinggian horizontal saja). Rute ini menghabiskan 13,76 V daya baterai yang ada. Tentunya daya yang dibutuhkan ini melebihi kapasitas baterai yang hanya 12 V.



Gambar 12. Tampilan saat eksperimen lewat *Software in The Loop* (Percobaan 2)

Setelah melakukan misi terbang dan berhasil kembali ke titik awal yaitu Rumah Sakit Hasan Sadikin Bandung, didapatkan hasil yaitu UAV telah terbang selama 5 menit 54 detik diukur sejak UAV melakukan *takeoff* hingga *landing*. Jarak yang ditempuh sebesar 1.090 meter (asumsi hanya dihitung ketinggian horizontal saja). Rute ini menghabiskan 10,072 V daya baterai yang ada. Artinya, masih tersisa 1,9 V tersisa pada baterai.

B. Pembahasan

Dari kedua percobaan yang telah dilakukan, dapat dilihat perbedaan yang cukup signifikan. Pertama-tama dilihat dari aspek waktu. Rute pada percobaan kedua menghemat 3 menit 33 detik dari percobaan pertama dan memiliki efisiensi waktu 62,43% terhadap percobaan pertama. Hal ini tentunya sangat dibutuhkan mengingat banyaknya pasien yang membutuhkan obat-obatan dan merupakan kebutuhan mendesak.

Selanjutnya, dari aspek jarak, rute pada percobaan kedua memiliki selisih jarak 588 meter lebih pendek dari percobaan pertama. Hal ini membuktikan bahwa bobot setiap sisi sangat penting untuk diperhatikan. Efisiensi percobaan kedua dari sudut pandang jarak memberikan hasil sebesar 64,96% terhadap percobaan pertama.

Terakhir, dari aspek daya baterai. Sebuah baterai berkapasitas 12 V sangat berpengaruh pada ketahanan terbang dari UAV. Ternyata, didapatkan hasil bahwa percobaan kedua memiliki selisih yang lebih baik, sebesar 3,688 V dari percobaan pertama. Nilai efisiensi yang didapatkan pada percobaan kedua, yaitu 73,19% daya lebih irit dari percobaan pertama.

Aspek daya baterai dinilai penting karena mengingat kapasitas baterai pada UAV umumnya berkapasitas 12 V saja. Apabila daya yang dibutuhkan lebih dari nilai tersebut, daya baterai kemungkinan habis pada saat pengantaran obat-obatan. Efek yang sangat fatal yakni UAV bisa saja jatuh karena kehabisan energi untuk terbang.

V. KESIMPULAN

Dalam penentuan rute terbang, terutama dalam melakukan pengantaran obat-obatan bagi penderita Covid-19 yang melakukan isolasi mandiri di rumah masing-masing, diperlukan strategi yang matang. Strategi penentuan rute terbang UAV dapat dilakukan dengan mengaplikasikan prinsip teori sirkuit Hamilton supaya seluruh rumah yang membutuhkan suplai obat-obatan dapat terjangkau dengan baik walaupun akses terbatas sekalipun.

Selain itu, diperlukan juga optimasi dalam pengantaran obat-obatan sehingga didapatkan rute yang tercepat dengan syarat seluruh rumah yang melakukan isolasi mandiri dapat terjangkau dengan waktu yang cepat dan jarak sependek mungkin. Efisiensi rata-rata yang didapatkan, terutama dari segi waktu, jarak, dan daya yaitu 66,86% lebih baik dari segala kemungkinan rute yang ada.

VI. SARAN

Saran untuk peneliti selanjutnya adalah penentuan rute tercepat tidak hanya diukur berdasarkan waktu, jarak, dan daya, saja, tetapi bisa ditambahkan pengaruh berat beban kiriman, efisiensi rotor dan kestabilan tinggi yang optimal agar terhindar dari rintangan-rintangan yang ada. Dapat dikembangkan lebih lanjut mengenai inovasi pengantar barang yang efisien sehingga UAV secara otomatis dapat mendeteksi pengantaran secara otomatis sesuai dengan skala prioritas kebutuhan masing-masing pasien.

VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama, Saya mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmatNya, Makalah berjudul "Strategi Rute UAV untuk Pengantaran Obat-obatan bagi

Penderita Covid-19 saat Isolasi Mandiri dengan Algoritma Cheapest Link & Sirkuit Hamilton" dapat terselesaikan dengan baik dan tidak ada hambatan sedikit pun. Terima kasih kepada Ibu Fariska Zakhralativa Ruskanda S.T.,M.T. yang telah mengajar mata kuliah IF 2120 Matematika Diskrit dan membimbing selama satu semester ini. Terima kasih terhadap segala pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga turut membantu terselesaikan pembuatan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. Suwatno, "Aplikasi Pencarian Rute Penerbangan Terpendek Dengan Menggunakan Algoritma Dijkstra pada PT Dwidaya Indoexchange," 2015.
- [2] R. Munir, *Matematika Diskrit edisi ketiga*. Bandung, 2009.
- [3] B. Santosa, *Konsep dasar optimasi - Pengantar metaheuristik implementasi dengan Matlab*. 2017.
- [4] H. Fachrudin, "Optimasi Penentuan Rute Perjalanan Sales pada UD. Aster," *Repos. Univ. Islam MAJAPAHIT*, 2019, [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.unim.ac.id/id/eprint/169>.
- [5] S. Wahyuningsih, D. Satyananda, dan D. Hasanah, "Kajian Karakteristik Solusi Varian Traveling Salesman Problem (TSP) dan Aplikasinya," *Pros. Semin. Nas. Mat. dan Pendidik. Mat.*, no. 978, hal. 490-498, 2015, [Daring]. Tersedia pada: <http://fmipa.um.ac.id/index.php/2016/08/24/karya-ilmiah-dosen-fmipa-an-sapti-wahyuningsih-pada-prosiding-semnastika-2015-di-unesa/>.
- [6] P. Tannenbaum, *Excursions in Modern Mathematics, 7th Edition*, 7th ed. Fresno: Pearson, 2010.
- [7] G. J. Pottie dan W. J. Kaiser, *Principles of Embedded Networked Systems Design*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

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.

Jakarta, 7 Desember 2020



Leonard Matheus Wastupranata - 13519215