

Penerapan Desain Lintasan UAV yang Hemat Energi untuk Deteksi Kebakaran Hutan

Reinaldo Ivander Yonardy dan Wirawan

Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: wirawan@ee.its.ac.id

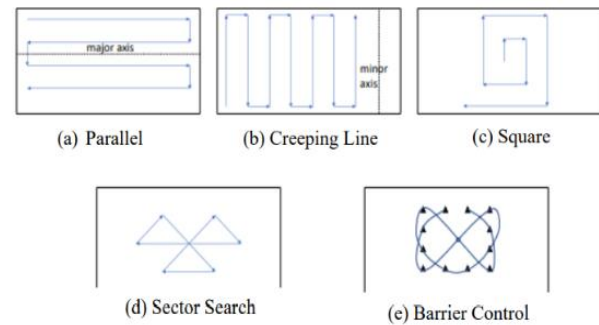
Abstrak—Kebakaran hutan merupakan masalah serius yang dapat menyebabkan berbagai kerugian. Teknik pendeteksian kebakaran hutan dini yang andal sangat diperlukan untuk mencegah kebakaran hutan. *Wireless sensor network* (WSN) yang digunakan didalam hutan harus bisa mengirim data secara *realtime*, tetapi tantangannya adalah WSN yang didalam hutan memiliki batasan jarak dalam mengirim data karena menggunakan sumber daya yang kecil dan juga bertujuan untuk keawetan dari WSN itu sendiri. Sehingga dibutuhkan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) sebagai *mobile collector* yang memiliki mobilitas yang tinggi. Tetapi UAV sendiri memiliki kekurangan yaitu sumber daya yang digunakan untuk terbang adalah baterai yang memiliki energi yang terbatas. Pada proses penelitian ini, akan diteliti beberapa variabel yang dapat mempengaruhi besar konsumsi energi pada UAV seperti ketinggian UAV, luas hutan, desain lintasan UAV dan jumlah konsumsi baterai dari UAV saat diterbangkan sebagai *mobile collector*. Data ini akan diukur dan dibandingkan menggunakan *software* MATLAB. Tujuan dari penelitian ini adalah dapat merancang dan menerapkan desain lintasan UAV yang hemat energi agar penggunaan UAV sebagai *mobile collector* bisa lebih optimal dan mengetahui berapa besar pengaruh desain lintasan UAV sebagai *mobile collector* untuk mendeteksi kebakaran hutan.

Kata Kunci—Desain lintasan, Konsumsi Energi, *Mobile Collector*, UAV.

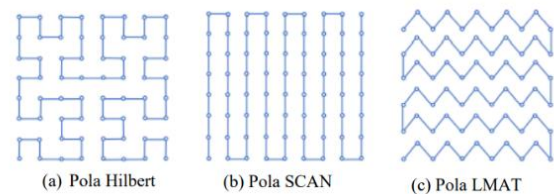
I. PENDAHULUAN

DALAM beberapa tahun terakhir, jumlah, frekuensi, dan tingkat kebakaran hutan telah meningkat secara drastis di seluruh dunia sehingga berdampak secara signifikan pada ekonomi dan ekosistem Negara [1]. Laporan terbaru *Greenpeace* Asia Tenggara ‘Karhutla Dalam Lima Tahun Terakhir’ mengungkap kegagalan total pemerintah Indonesia dalam melindungi hutan dan lahan gambut dari pembakaran. Terungkap sekitar 4,4 juta hektar lahan atau setara 8 kali luas pulau Bali terbakar antara tahun 2015-2019. Tantangan deteksi kebakaran hutan baru-baru ini mendapatkan perhatian yang lebih karena peningkatan tingkat keparahan dan frekuensi kebakaran hutan di seluruh dunia. Teknik deteksi kebakaran yang populer seperti pencitraan satelit dan penginderaan berbasis kamera jarak jauh memiliki kelemahan deteksi terlambat dan keandalan yang rendah sementara deteksi kebakaran hutan dini adalah kunci untuk mencegah kebakaran besar.

Penggunaan UAV pada komunikasi nirkabel saat ini banyak menarik perhatian, dibandingkan dengan komunikasi terestrial yang tradisional, komunikasi dengan bantuan UAV ini lebih hemat biaya, pengoperasiannya dapat dilakukan sesuai permintaan, lebih fleksibel serta penyebarannya pun lebih cepat karena mobilitas UAV yang tinggi. Selain itu, skema pengumpulan data klasik atau tradisional di mana semua node meneruskan data ke *node sink* yang membutuhkan end-to-end link yang handal antara sink dan



Gambar 1. Lintasan UAV.



Gambar 2. Desain Lintasan Yang Hemat Energi.

sensor sehingga membutuhkan konsumsi energi yang besar oleh sensor untuk meneruskan data, penggunaan UAV sebagai *mobile collector* bisa menghemat energi untuk semua sensor lain dan hal itu bisa memperpanjang masa pakai jaringan [2]. Dengan memanfaatkan mobilitasnya yang tinggi, UAV mampu mengumpulkan data dari *node sensor* secara hemat energi, karena dapat mengunjungi *node sensor* secara berurutan dan mengumpulkan data hanya dengan cara bergerak cukup dekat dari setiap *node sensor*. Dengan demikian, jarak *link distance* dari setiap node sensor yang aktif ke UAV berkurang secara signifikan, yang menghemat energi transmisi. Maka dari itu, UAV akan memainkan peran yang sangat penting dalam komunikasi nirkabel masa depan. Salah satu contoh aplikasi dari penggunaan UAV yaitu, pengumpulan data pada jaringan *Internet of Things* (IoT) [3]. Pada proses pengambilan data menggunakan UAV, *node sensor* mengukur dan mengirim data yang dikumpulkan ke unit pusat data untuk diproses baik secara langsung atau melalui beberapa hop [4]. Penggunaan UAV dalam medan berbukit lebih efisien dibandingkan dengan *ground collector* dimana rintangan dapat menghambat pencapaian misi. UAV dapat dengan cepat memperoleh data yang akurat di area yang luas yang sulit diakses [5].

Namun, terlepas dari banyaknya kelebihan yang dimiliki UAV sebagai *mobile collector*, perangkat tersebut juga memiliki kelemahan, dikarenakan sumber energi UAV berasal dari baterai, maka UAV memiliki keterbatasan energi yang dapat memengaruhi performanya dalam mengambil data. Masalah keterbatasan energi yang dimiliki UAV merupakan alasan dilakukannya penelitian ini guna merancang desain metode dan mekanisme yang hemat energi sehingga memungkinkan UAV melakukan lebih banyak hal

sesuai kapasitas baterainya. Karena konsumsi energi utama UAV berasal dari gerakan mekanisnya, misalnya *cruising* (terbang), *decreasing* (turun), dan *increasing* (naik) sehingga optimasi lintasan dianggap sebagai cara yang efektif untuk mengurangi konsumsi energi. Fokus utama dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis secara matematis konsumsi energi UAV berdasarkan gerakan mekanis sesuai lintasan yang ditempuh dan desain komunikasi yang dirancang. Kemudian, melakukan perbandingan hasil simulasi dari beberapa desain lintasan dan desain komunikasi yang dibuat. Lalu, mengevaluasi lebih lanjut hasil simulasi yang diperoleh. Analisis dibatasi pada aspek energi hanya dengan membandingkan tingkat konsumsi energi di setiap desain lintasan. Tujuannya adalah untuk melihat opsi penerapan

III. TINJAUAN PUSTAKA

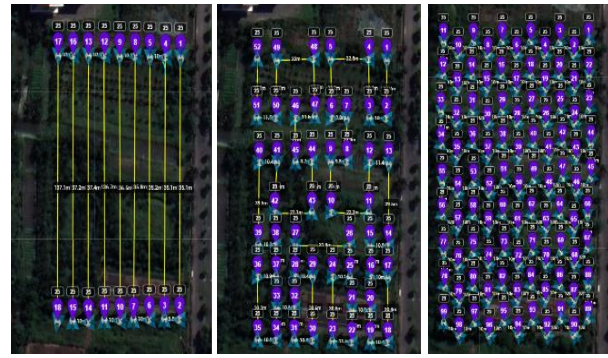
A. UAV

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau sering disebut sebagai drone adalah mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri yang dioperasikan oleh operator, menggunakan hukum aerodinamika untuk mengangkat dirinya dan mampu membawa muatan baik senjata maupun muatan lainnya. Penggunaan terbesar dari pesawat nirawak ini adalah di bidang militer, tetapi juga digunakan di bidang geografi, fotografi, dan videografi yang dilakukan secara bebas dan terbuka. Di bidang geografi, pesawat nirawak digunakan sebagai salah satu wahana pengindraan jauh yang sangat penting dalam pembuatan peta, seperti peta penggunaan lahan, peta daerah rawan bencana, dan peta daerah aliran sungai. Karena tidak memiliki awak, UAV harus dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *remote control* dari luar kendaraan atau biasa disebut *Remotely Piloted Vehicle* (RPV). Selain itu, UAV juga dapat bergerak secara otomatis berdasarkan program yang sudah ditanamkan pada sistem komputernya. Perkembangan teknologi membuat drone juga mulai banyak diterapkan untuk kebutuhan sipil, terutama di bidang bisnis, industri dan logistik. Dunia industri bisnis, drone telah diterapkan dalam berbagai layanan seperti pengawasan Infrastruktur, pengiriman paket barang, pemadam kebakaran hutan, eksplorasi bahan tambang, pemetaan daerah pertanian, dan pemetaan daerah industri.

Meski alat canggih ini pada awalnya hanya di gunakan oleh anggota militer saja, kini alat ini telah banyak digunakan oleh seluruh pihak secara meluas. Badan pemerintahan juga memanfaatkan alat canggih ini untuk dapat menghubungkan intelejen dengan pertanian. Namun saat ini untuk masyarakat awam sekalipun juga sudah dapat menggunakan Drone.

B. Konsumsi Energi UAV

Konsumsi energi UAV terkait erat dengan penggunaan sumber daya yang dimiliki oleh pesawat. Sumber daya utama UAV adalah bahan bakar atau daya baterai. Berbagai jenis bahan bakar dapat digunakan, seperti avgas untuk UAV berbahan bakar bensin atau avtur untuk UAV berbahan bakar jet. Alternatif lain adalah UAV listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber daya. Efisiensi bahan bakar atau



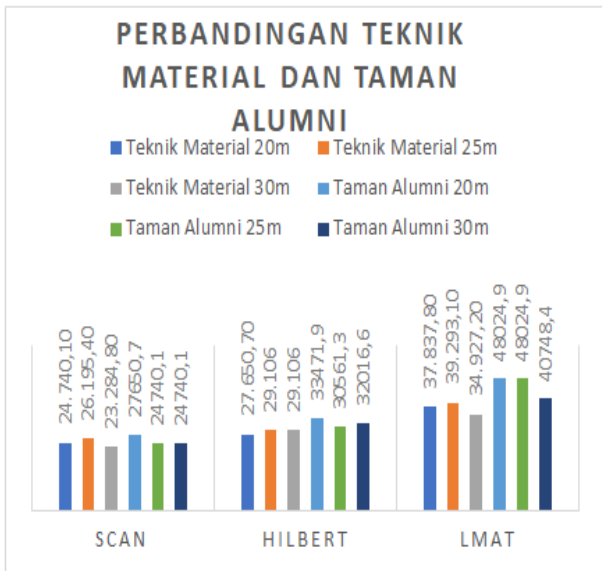
Gambar 3. Desain Lintasan Yang diterapkan ditempat pengujian.

terbaik dari perspektif konsumsi energi.

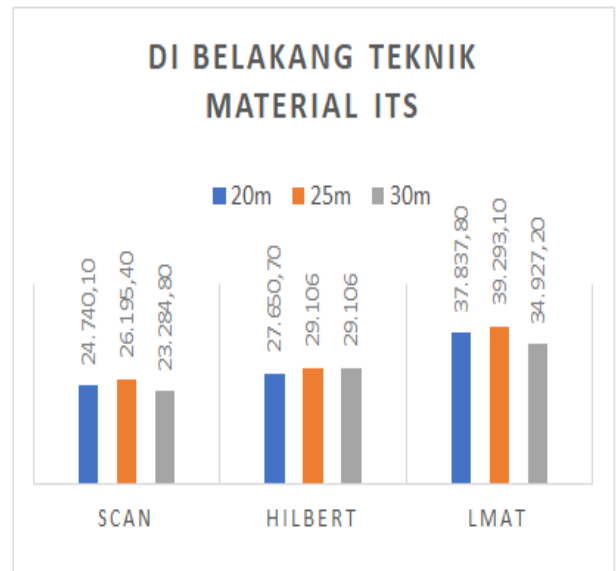
II.

energi baterai menjadi kunci dalam meningkatkan waktu terbang dan jangkauan misi UAV. Beberapa faktor yang mempengaruhi konsumsi energi UAV adalah Berat Pesawat, Bentuk dan Desain, *Altitude*(Ketinggian) Penerbangan, Kecepatan, Cuaca dan Lingkungan. Faktor yang pertama adalah berat UAV, semakin besar berat UAV, semakin besar energi yang dibutuhkan untuk mengangkatnya dan mempertahankan penerbangan. Yang kedua adalah bentuk dan desain, bentuk sayap, ekor, dan badan pesawat dapat mempengaruhi efisiensi aerodinamis dan, akibatnya, konsumsi energi. Desain UAV yang dioptimalkan untuk mengurangi hambatan akan meningkatkan efisiensi. Yang ketiga adalah *altitude*(Ketinggian) Penerbangan, penerbangan pada ketinggian yang tepat dapat mengurangi hambatan udara dan konsumsi energi. Namun, penerbangan pada ketinggian yang terlalu tinggi juga dapat mempengaruhi efisiensi mesin atau daya baterai, sehingga perlu dilakukan analisis yang cermat. Yang keempat adalah kecepatan, kecepatan penerbangan yang optimal perlu dipertimbangkan untuk mencapai efisiensi tertinggi. Kecepatan yang lebih tinggi dapat mengurangi waktu misi, tetapi juga dapat meningkatkan konsumsi energi. Yang terakhir adalah cuaca dan lingkungan, faktor-faktor lingkungan seperti angin, suhu udara, dan kondisi cuaca lainnya dapat mempengaruhi efisiensi dan konsumsi energi UAV. Pemilihan waktu dan kondisi terbang yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan konsumsi energi. Perlu dicatat bahwa banyak dari faktor-faktor ini saling berhubungan dan juga berubah secara dinamis selama perjalanan UAV [6].

Sebuah UAV menggunakan energi untuk terbang dengan menghasilkan gaya dorong dan angkat untuk mengatasi beban dan gaya hambat. Lima aspek utama yang saling berkaitan dengan konsumsi energi yang digunakan oleh UAV, yaitu: bobot muatan, bobot baterai, bobot UAV (badan pesawat), kecepatan udara, dan jangkauan. Kecepatan udara, muatan, berat drone dan berat baterai adalah penentu penting dari tingkat konsumsi energi UAV. Tingkat konsumsi energi bersama dengan berat baterai dan jenisnya menentukan jangkauan terbang UAV. Muatan, UAV, dan berat baterai menentukan berat total UAV saat lepas landas/*take-off*. Meningkatkan berat komponen apa pun pada UAV berarti meningkatkan tingkat konsumsi energi UAV pula. Perhatikan bahwa peningkatan bobot baterai akan meningkatkan tingkat konsumsi energi UAV, dan ini berakibat pada menurunnya jangkauan UAV; namun di satu sisi, baterai yang lebih besar



Gambar 4. Perbandingan setiap desain lintasan yang diuji di belakang Teknik Material dan juga di depan Taman Alumni.



Gambar 5. Perbandingan setiap desain lintasan yang diuji di belakang Teknik Material.

juga akan meningkatkan kapasitas energi yang tersedia, sehingga juga bisa meningkatkan jangkauan [7].

C. Macam-macam Desain Lintasan UAV

Dalam penelitian sebelumnya, telah dikembangkan sebuah rancangan lintasan untuk UAV yang mampu mencakup seluruh lingkungan target. Rancangan tersebut mempertimbangkan karakteristik sensor dan pergerakan UAV dengan memastikan menghindari rintangan. Rancangan lintasan tersebut mengambil bentuk pola geometris sederhana. Pola yang umum digunakan antara lain bolak-balik (BF) dan spiral (SP). Pergerakan UAV di pola ini menggunakan lintasan garis lurus dengan bolak-balik di kedua arah, serta dilengkapi dengan manuver sudut tertutup di setiap putaran. Pada pola spiral, UAV akan bergerak melingkar dari luar area menuju titik pusat, sehingga jari-jarinya berkurang [8].

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa pola bolak-balik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu garis paralel dan merayap. Ada juga pola penerbangan persegi yang terdiri dari garis lurus dan manuver 90° ke sisi kanan. Pola ini dimulai dari titik pusat dan berlanjut ke arah perbatasan, pola yang menyerupai bentuk elips. Pola *sector search* yang terdiri dari garis lurus dengan manuver berputar 120° ke kanan saat kendaraan mencapai perbatasan area. Setelah mencakup tiga sektor, UAV kembali ke titik awal. Pola *barrier patrol* terdiri dari 12 titik yang didistribusikan secara spasial di area terbang UAV. UAV memulai lintasannya di titik awal dan melakukan gerakan melingkar untuk mencapai titik berikutnya. Dari titik tersebut, UAV tidak melanjutkan lingkaran lintasan, melainkan mengikuti jalur yang lebih dekat ke sudut kanan dan menuju titik pusat.

Dalam penelitian lain, dilakukan riset yang menghasilkan temuan bahwa UAV (Unmanned Aerial Vehicle) menghabiskan banyak waktu dan energi saat berbelok. UAV juga harus memperlambat, berputar, dan mempercepat setiap kali melakukan manuver. Oleh karena itu, dengan menggunakan konsep kurva Bézier, dilakukan modifikasi pada lintasan konvensional seperti SCAN (bolak-balik), HILBERT, dan LMAT, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Modifikasi ini bertujuan untuk menghaluskan

manuver sepanjang jalur yang telah ditetapkan. Dengan mengurangi ketegangan pada gerakan belok, lintasan yang telah dimodifikasi tersebut memungkinkan lebih banyak manuver yang efektif dilakukan dengan perlambatan minimal. Hasil dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa desain lintasan yang baru dapat mengurangi jumlah energi dan waktu yang diperlukan dibandingkan dengan lintasan konvensional [8].

D. Perhitungan signal loss

1) Friis Equation

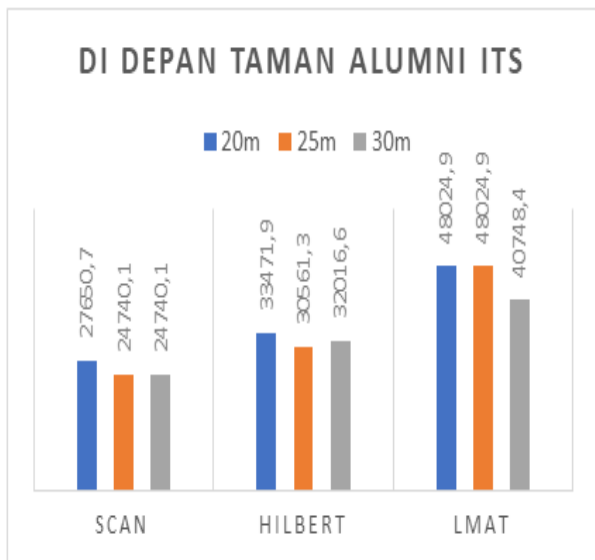
Persamaan Friis, juga dikenal sebagai Friis Transmission Formula, merupakan salah satu persamaan fundamental dalam teori transmisi gelombang elektromagnetik, terutama dalam konteks komunikasi nirkabel. Persamaan ini dinamai setelah seorang insinyur Denmark bernama Harald T. Friis yang mengembangkannya pada tahun 1946. Persamaan Friis adalah persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung kekuatan sinyal atau daya sinyal yang diterima oleh penerima (receiver) dari pengirim (transmitter) dalam komunikasi nirkabel atau sistem transmisi gelombang radio. Persamaan ini menyediakan cara untuk memahami bagaimana redaman sinyal terjadi saat sinyal bepergian melalui saluran transmisi dan berapa daya yang dapat diterima oleh penerima dalam kondisi yang diberikan seperti pada persamaan 1.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \tag{1}$$

2) Free Space Path Loss

Free Space Path Loss (FSPL) adalah redaman atau penurunan daya gelombang elektromagnetik yang terjadi saat gelombang merambat melalui ruang bebas tanpa adanya hambatan atau refleksi. FSPL merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan dan analisis sistem komunikasi nirkabel, terutama dalam komunikasi menggunakan gelombang radio atau gelombang mikro seperti pada persamaan 2.

$$FSPL_{dB} = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 147.55 \tag{2}$$



Gambar 6. Perbandingan setiap desain lintasan yang diuji di depan Taman Alumni.

3) Link Budget Equation

Link Budget Equation atau Persamaan Anggaran Link adalah alat yang digunakan dalam perencanaan dan analisis sistem komunikasi nirkabel untuk memastikan kualitas dan kehandalan koneksi antara pengirim (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Persamaan anggaran *link* memperhitungkan semua faktor yang mempengaruhi daya sinyal yang diterima dan daya yang dipancarkan dalam sistem komunikasi. Dalam perencanaan jaringan komunikasi nirkabel, *Link Budget Equation* digunakan untuk memastikan bahwa daya sinyal yang diterima mencukupi untuk mempertahankan kualitas koneksi yang baik. Dengan menggunakan nilai daya yang dipancarkan, penguatan antenna, dan redaman dalam sistem, perhitungan *Link Budget* memastikan bahwa daya sinyal yang diterima di penerima mencapai ambang batas minimal yang diperlukan untuk mendukung transmisi data dengan keandalan yang memadai. Dengan demikian, perencanaan yang cermat berdasarkan *Link Budget Equation* sangat penting dalam mendesain jaringan komunikasi nirkabel yang efisien dan handal seperti pada persamaan 3.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{tx} - L_{fs} - L_{fm} - L_{rx} \quad (3)$$

IV. METODOLOGI

A. Mendesain lintasan UAV

Penelitian ini dilakukan di dua tempat, yang pertama dilakukan dibelakang Teknik Material ITS dengan luas 10.686,41 m². Desain lintasan yang telah ditentukan akan diaplikasikan untuk pengambilan data dibelakang Teknik Material ITS menggunakan aplikasi Litchi seperti yang ada pada Gambar 3. UAV akan terbang dengan menggunakan 3 variasi ketinggian di masing-masing variasi desain lintasan dengan ketinggian 20m, 25m, dan 30m. Dalam percobaan ini kecepatan maksimal UAV saat cruising adalah 15m/s. Total jarak yang ditempuh dalam percobaan kali ini ±1km.

B. Melakukan pengukuran & perhitungan

Drone akan diterbangkan untuk pengambilan data yang akan dilakukan pengukuran & perhitungan, mulai dari

pengukuran ketinggian, kecepatan UAV, kecepatan angin, dan juga penggunaan energi baterai. Pengukuran dan perhitungan ini akan dilakukan dan disimulasikan menggunakan *software* Airdata dan MATLAB. Airdata berguna untuk mendapatkan semua data drone selama drone terbang yang berguna untuk perhitungan konsumsi energi. Setelah data didapatkan, selanjutnya konsumsi energi drone akan dihitung menggunakan MATLAB. Proses pengukuran dilakukan menggunakan UAV dengan jenis *quadcopter* bermerk DJI Mavic Air 2.

Dalam melakukan misi sebagai *mobile collector*, perhitungan konsumsi energi UAV kali ini terfokus pada pergerakan UAV berdasarkan lintasan yang dilalui. Tujuan dilakukannya simulasi ini adalah untuk melihat opsi penerapan desain lintasan terbaik apabila UAV digunakan sebagai *mobile collector* untuk deteksi kebakaran hutan dari dilihat dari perspektif konsumsi energi. Konsumsi energi UAV akan dihitung dengan cara pada persamaan 4.

$$E = P \times BatteryPercentage \times 3600 \quad (4)$$

Dimana E adalah energi, *BatteryPercentage* adalah presentase baterai disaat UAV *take off* maupun *landing*, dan 3600 adalah konversi dari Watt menjadi Joule.

V. ANALISIS HASIL

A. Hasil Perbandingan Konsumsi Energi UAV dibelakang Teknik Material dan didapan Taman Alumni ITS

Dari pengukuran yang telah dilakukan, diketahui bahwa desain lintasan UAV yang paling hemat di kedua tempat pengukuran adalah pola SCAN yang dimana dalam pola tersebut UAV tidak banyak berbelok kekanan maupun kekanan dan yang paling tidak efisien adalah pola LMAT yang dimana pola ini membuat UAV banyak berbelok kekanan dan kekanan seperti yang ditunjukkan Gambar 4. Namun dalam pengujian ini banyak faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengujian seperti :

1. Pengaruh cuaca dan kondisi angin pada setiap ketinggian yang diuji.
2. Perubahan kecepatan dan arah angin dapat mempengaruhi konsumsi energi baterai secara signifikan. Dalam penelitian ini, keadaan tersebut ditemukan saat UAV terbang dikedua tempat.

B. Hasil Perbandingan Konsumsi Energi UAV dibelakang Teknik Material ITS

Jika dibandingkan desain lintasan yang dicoba di belakang Teknik Material ITS antara 1 dengan yang lain seperti pada Gambar 5. maka akan terlihat bahwa yang paling hemat adalah pola SCAN. Pola SCAN menjadi yang paling hemat energi dikarenakan pola SCAN tidak banyak membuat drone bergerak kekanan dan kekanan. Jika kita melihat perbandingan antara ketinggian maka bisa dilihat bahwa ternyata di pola SCAN dan juga LMAT di ketinggian 30 meterlah yang paling hemat dalam konsumsi energi, hal ini bisa terjadi karena banyaknya faktor yang dapat mempengaruhi setiap pengujian seperti pengaruh cuaca. Tetapi hal ini dapat terjadi bukan hanya karena pengaruh cuaca saja karena pada saat drone terbang di ketinggian yang lebih tinggi, udara cenderung memiliki ketahanan yang lebih rendah. Ini berarti drone akan menghadapi hambatan yang lebih sedikit saat terbang, sehingga membutuhkan lebih sedikit energi untuk



Gambar 7. Perbandingan konsumsi energi dengan menggunakan kurva bezier dan tidak menggunakan kurva bezier.

mempertahankan kecepatan dan ketinggian.

C. Hasil Perbandingan Konsumsi Energi UAV didepan Taman Alumni ITS

Jika kita melihat data perbandingan desain lintasan yang dicoba di depan Taman Alumni ITS antara 1 dengan yang lain seperti pada Gambar 6. maka akan terlihat bahwa yang paling hemat adalah pola SCAN. Pola SCAN menjadi yang paling hemat energi dikarenakan pola SCAN tidak banyak membuat drone bergerak kekiri dan kekanan. Jika kita melihat perbandingan antara ketinggian maka bisa dilihat bahwa ternyata di ketiga pola ketinggian 20 meterlah yang paling banyak mengonsumsi energi, hal ini bisa terjadi karena banyaknya faktor yang dapat mempengaruhi setiap pengujian seperti pengaruh cuaca. Tetapi hal ini dapat terjadi bukan hanya karena pengaruh cuaca saja karena pada saat drone terbang di ketinggian yang lebih tinggi, udara cenderung memiliki ketahanan yang lebih rendah. Ini berarti drone akan menghadapi hambatan yang lebih sedikit saat terbang, sehingga membutuhkan lebih sedikit energi untuk mempertahankan kecepatan dan ketinggian. Hal ini juga didukung dengan situasi tempat uji coba yaitu di depan Taman Alumni memiliki pohon yang tingginya 18-20 meter jadi drone yang dilengkapi dengan sensor atau kamera yang mengumpulkan data selama penerbangan, di ketinggian yang lebih rendah akan membutuhkan pemrosesan data yang lebih intensif, Karena sensor akan bekerja lebih keras agar tidak menabrak obstacle yang membuat drone mengonsumsi lebih banyak energi baterai.

D. Hasil Perbandingan Pola yang menggunakan pendekatan kurva bezier dengan Pola yang tidak menggunakan pendekatan kurva bezier.

Jika kita membandingkan konsumsi energi drone pada setiap pola dengan menggunakan pendekatan kurva bezier dan tidak menggunakan kurva bezier yang ada pada Gambar 7, Maka akan didapati hasil bahwa pendekatan kurva bezier akan sangat signifikan perbedaan konsumsi energinya pada

pola HILBERT, ini dikarenakan pola HILBERT adalah gabungan dari pola yang bergerak lurus dan juga banyak berbelok, jadi disaat drone harus berbelok maka drone harus berhenti lalu berputar dan berjalan maju lagi, sedangkan pola SCAN adalah pola yang lebih banyak bergerak lurus sehingga waktu untuk berhenti dan berputar tidak sebanyak pola HILBERT. Untuk pola LMAT tidak begitu signifikan karena pola LMAT adalah pola yang berbelok terus sehingga drone tidak perlu berakselerasi lebih di lurusan dan tidak perlu deselerasi untuk berhenti dan berbelok seperti HILBERT dan SCAN.

E. Perhitungan loss yang terjadi didepan Taman Alumni

Pada saat pengujian di depan Taman Alumni terjadi *signal loss* pada uji coba terbang di ketinggian 15 meter. Hal ini dapat terjadi karena di depan Taman Alumni terdapat banyak pohon yang ketinggiannya 15-20 meter sehingga pengiriman data dari drone ke *remote control* mengalami *signal loss*. Telah diketahui bahwa P_t (Transmit Power) = 20 dBm = 100 mW, Frekuensi 2.4 GHz dan R(jarak maksimum antar antenna) = 180 meter, G_t dan $G_r = 0$ maka bisa dihitung loss yang terjadi akibat pohon pada persamaan 5

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

$$P_r = \frac{100 \times (\frac{c}{f})^2}{(4\pi R)^2}$$

$$P_r = 2.47 \times 10^{-7} \text{ mW}$$

$$P_r = -76 \text{ dBm}$$

Selanjutnya kita menghitung Free space path loss,

$$L_{dB} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.55$$

$$L_{dB} = 20 \log_{10}(180) + 20 \log_{10}(2400000000) - 147.55$$

$$L_{dB} = 85,159$$

Setelah mengetahui free space path loss (L_{fs}) = 85,159, $P_r = -76$, L_{tx} dan $L_{rx} = 0$ maka bisa dihitung loss akibat pohon,

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{tx} - L_{fs} - L_{fm} - L_{rx}$$

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{fs} - L_{fm}$$

$$L_{fm} = P_{tx} - L_{fs} - P_{rx}$$

$$L_{fm} = 100 - 85,159 - (-76)$$

$$L_{fm} = 90,841$$

Dari perhitungan ini diketahui bahwa daya minimum receiver (*remote control*) = -76 dBm dan juga loss akibat pohon di depan Taman Alumni = 90,841 dB. Untuk mengatasi *signal loss* ini maka disarankan untuk menggunakan antenna tambahan untuk menambah gain agar pada saat mengambil data drone tidak akan mengalami *signal loss*.

VI. KESIMPULAN/RINGKASAN

Pada Tugas Akhir ini telah diuji 3 desain lintasan dengan 3 variasi ketinggian pada dua tempat yang berbeda tetapi dengan luas yang sama. Dari pengujian Tugas Akhir ini didapati desain lintasan UAV yang paling hemat untuk diterapkan pada area hutan yang berbentuk persegi panjang

seperti didepan Taman Alumni dan dibelakang Teknik materal ITS adalah desain lintasan *back and forth*(SCAN). Konsumsi energi di kondisi hutan yang memiliki banyak pepohonan dan pohon yang tinggi ternyata lebih tinggi dibandingkan dengan konsumsi energi di kondisi hutan yang tidak padat dengan pohon dan pohonnya tidak begitu tinggi. Konsumsi Energi drone diketinggian 30 meter lebih sedikit dibanding dengan yang 20 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. M. Bushnaq, A. Chaaban, and T. Y. Al-Naffouri, "The Role of UAV-IoT Networks in Future Wildfire Detection," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 23, pp. 16984–16999, 2021.
- [2] M. Elloumi, B. Escrig, R. Dhaou, H. Idoudi, and L. A. Saidane, "Designing An Energy Efficient UAV Tracking Algorithm," in *13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Valencia, Spain, 26-30 June, 2017*, pp. 127–132.
- [3] H. V. Abeywickrama, B. A. Jayawickrama, Y. He, and E. Dutkiewicz, "Comprehensive energy consumption model for unmanned aerial vehicles, based on empirical studies of battery performance," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 58383–58394, 2018.
- [4] N. Mohd Noor, A. Abdullah, and M. Hashim, "Remote Sensing UAV/Drones and Its Applications for Urban Areas: A Review," in *IOP conference series: Earth and environmental science*, 2018, vol. 169, p. 12003.
- [5] X. Liu, Y. Liu, N. Zhang, W. Wu, and A. Liu, "Optimizing Trajectory of Unmanned Aerial Vehicles for Efficient Data Acquisition: A Matrix Completion Approach," *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 2, pp. 1829–1840, 2019.
- [6] T. M. Cabreira, L. B. Brisolaro, and F. J. Paulo R, "Survey on coverage path planning with unmanned aerial vehicles," *Drones*, vol. 3, no. 1, p. 4, 2019.
- [7] O. Alvear, N. R. Zema, E. Natalizio, C. T. Calafate, and others, "Using UAV-based systems to monitor air pollution in areas with poor accessibility," *J. Adv. Transp.*, vol. 2017, 2017.
- [8] J. Zhang, J. F. Campbell, D. C. Sweeney II, and A. C. Hupman, "Energy consumption models for delivery drones: A comparison and assessment," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 90, p. 102668, 2021.