



INSPEKSI SALURAN TRANSMISI 150kV PLTU 3 BENGKAWANG - GI SINGKAWANG MENGUNAKAN DRONE

Aziz Virgiawan Putra^{1*}, Usman A Gani², Rudi Kurnianto³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura Pontianak

¹agziizvol@gmail.com

Abstract

A transmission tower is a supporting structure for transmission lines that can take the form of steel towers, steel poles, reinforced concrete poles, or wooden poles. Steel, concrete, and wooden poles are generally utilized for lines with relatively low operating voltages (below 70 kV), whereas steel towers are used for high-voltage and extra-high-voltage transmission lines. PT. PLN (Persero) Transmission and Substation Service Unit (ULTG) Singkawang conducts transmission line inspections using observation methods involving binoculars and drones. However, the observation method using binoculars has limitations, such as relatively long inspection times, restricted visibility, and the potential for human error. This study aims to compare the effectiveness of using drones and binoculars in inspection activities for the 150 kV SUTT transmission line along the PLTU 3 Bengkayang - Singkawang Substation (GI) route, spans 22.525 km and consists of 64 transmission towers. The research method employed is a comparative approach through field observations, documentation, and analysis of inspection results. The parameters compared include inspection execution time, ease of mobilization, the quality of observation results, and the ability to identify potential disturbances. The results of the periodic inspections conducted via drone revealed that the physical condition of the tower components was safe, structural failure was safe, and the potential for damage was safe; however, regarding the presence of foreign objects around the towers, there were trees that exceeded the safe distance standard. This study demonstrates that more modern inspection methods can improve the reliability of the electric power transmission system. Refining the inspection process in this manner enables enhancements in safety, time efficiency, and a reduction in risks that could potentially cause disruptions to the electricity supply.

Keywords: *Inspection, Transmission, High-Voltage Overhead Line (SUTT)*

Article History

Received: July 2026

Reviewed: July 2026

Published: July 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Abstrak

Inspeksi jaringan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV merupakan salah satu kegiatan pemeliharaan yang bertujuan menjaga keandalan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Metode inspeksi menggunakan teropong masih memiliki keterbatasan, antara lain kualitas visual yang kurang optimal, jangkauan pengamatan yang terbatas, serta potensi terjadinya human error. Penelitian ini bertujuan membandingkan efektivitas metode inspeksi menggunakan drone dan teropong dalam mengidentifikasi kondisi komponen jaringan serta objek berbahaya pada jalur transmisi SUTT 150 kV PLTU 3 Bengkayang-Gardu Induk (GI) Singkawang. Penelitian dilakukan menggunakan metode observasi lapangan dengan memanfaatkan drone DJI Mavic Air 2 dan metode inspeksi manual menggunakan teropong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inspeksi menggunakan drone menghasilkan kualitas visual yang lebih baik sehingga seluruh komponen utama, meliputi isolator, konduktor, arcing horn, jumper GSW, dan jumper joint, dapat diamati dengan lebih jelas dibandingkan metode teropong. Pada identifikasi objek berbahaya, drone berhasil mendeteksi 16 objek vegetasi, sedangkan metode teropong hanya mendeteksi 10 objek, sehingga efektivitas deteksi metode teropong mencapai 62,5% dibandingkan drone. Selain itu, drone mampu mengidentifikasi satu vegetasi yang melanggar batas ruang bebas ROW (Right of Way) dengan jarak terhadap konduktor yang tidak memenuhi ketentuan Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2021. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan drone lebih efektif dibandingkan metode inspeksi menggunakan teropong karena memberikan kualitas visual yang lebih baik, meningkatkan akurasi identifikasi objek berbahaya, mendukung pengukuran ROW, mengurangi potensi human error, serta meningkatkan efisiensi inspeksi jaringan transmisi SUTT 150 kV.

Kata Kunci: *Inspeksi, Transmisi, Saluran Udara Tegangan Tinggi*

1. PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) merupakan Perusahaan listrik Negara yang menjadi bagian dari Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan menjadi satu-satunya penyedia layanan tenaga listrik bagi masyarakat umum di Indonesia yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran rakyat secara adil dan merata serta mendorong kegiatan ekonomi, mengusahakan keuntungan agar dapat membiayai pengembangan penyediaan tegangan listrik untuk melayani kebutuhan masyarakat, mengupayakan agar tenaga listrik menjadi pendorong kegiatan ekonomi, dan menjalankan kegiatan usaha yang berwawasan lingkungan.

Dalam hal ini setiap Perusahaan listrik harus berupaya meningkatkan keandalan secara terus menerus. Tingkat keandalan dipresentasikan antara lain, indikator sering terjadinya pemadaman. Pemadaman listrik bisa terjadi karena gangguan ataupun pemeliharaan. Untuk meningkatkan keandalan pada sistem tenaga listrik maka dilakukan pengecekan pada jalur transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV untuk memitigasi gangguan yang mungkin



akan terjadi salah satunya gangguan yang diakibatkan oleh karena tidak terpenuhinya jarak ruang bebas pada jalur transmisi SUTT.

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik yang berperan sangat penting dalam menjaga kualitas dan keandalan untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) berfungsi untuk menyalurkan listrik dari pembangkit ke gardu induk atau digunakan untuk menghubungkan gardu induk satu ke gardu induk yang lain.

Faktor-faktor yang tidak terpenuhinya jarak ruang bebas pada jalur transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah pohon, bangunan, sungai yang dilalu kapal, jalur transportasi dan tiang listrik 20 kV. Pohon adalah sumber gangguan yang dapat mengganggu proses penyaluran tenaga listrik maka dari itu perlu pengecekan yang detail untuk mencegah terjadinya gangguan dan dapat mengklasifikasi prioritas span yang akan di pelihara dahulu, teknik yang dapat digunakan untuk pengecekan jalur transmisi yaitu metode observasi menggunakan teropong dan metode oservasi menggunakan drone. Pada kenyataannya berdasarkan wawancara dengan pihak PT. PLN Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Singkawang, pengecekan jalur transmisi dengan metode observasi menggunakan teropong dirasa kurang efektif, karena memerlukan waktu yang lama, mobilisasi dan jarak pandang terbatas, serta kemungkinan besar terjadinya human error. Sedangkan pengecekan jalur transmisi dengan metode observasi menggunakan drone dirasa lebih efektif maka dari itu penelitian ini akan dilakukan untuk membuktikan hal tersebut.

PT. PLN Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Singkawang yang membawahi beberapa Line Transmisi yaitu Line Senggiring-Singkawang, Line Bengkayang-Singkawang, Line Singkawang-Sambas, Line Bengkayang- Ngabang, Line Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)-Singkawang, dan Line Singkawang-Independent Power Producer (IPP) yang sudah terinterkoneksi sering terjadi berbagai gangguan saluran udara oleh karena itu PT. PLN Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Singkawang melakukan pemeliharaan mingguan dan triwulan untuk meminimalisir terjadinya gangguan tersebut. Pada jalur transmisi line Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 3 Bengkayang - Gardu Induk (GI) Singkawang terdapat 64 tower dengan panjang 22,525 km.

2. KERANGKA TEORITIS

2.1 Drone atau Wahana tanpa awak

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), yang umumnya dikenal sebagai *drone*, adalah pesawat yang beroperasi tanpa pilot manusia di dalamnya. Wahana ini dapat dikendalikan dari jarak jauh atau secara otonom. UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) telah memperoleh signifikansi penting di berbagai sektor karena keserbagunaan dan efektivitas biayanya, serta dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk operasi militer, pengawasan, dan aplikasi sipil. Pada tahun-tahun sebelumnya, pasar globalnya tumbuh dari USD 3,4 miliar pada tahun 2008 menjadi USD 7,3 billion pada tahun 2017, didorong oleh aplikasi seperti pemantauan real-time dan pertanian presisi. Di tahun-tahun mendatang, pasar UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) global diproyeksikan mengalami pertumbuhan yang signifikan. Pada tahun 2025, kapasitas pasar diperkirakan akan meningkat tiga kali lipat, dengan perkiraan berkisar antara USD 45 miliar untuk aplikasi infrastruktur sipil hingga USD 125 billion untuk drone komersial sipil pada tahun 2032. AS, Tiongkok, dan Prancis adalah produsen utama drone komersial. Sektor-sektor utama yang mendorong pertumbuhan pasar meliputi pertanian, inspeksi pipa dan jalur kereta api, konstruksi, serta aplikasi maritim.[3]

Saat ini drone digunakan sebagai salah satu alat bantu dalam pekerjaan transmisi untuk kebutuhan inspeksi khususnya memotret sudut yang tidak dapat dilihat secara visual. Pemandangan Udara drone dapat memberikan pandangan dari atas, membantu dalam pemetaan dan analisis jalur transmisi yang sulit dijangkau. Selain untuk inspeksi drone juga digunakan untuk berbagai macam aktivitas, salah satunya yaitu Scanning Right of Way (ROW).



Gambar 2. 1 Drone Da-Jiang Innovations (DJI) Mavic Air 2

Di wilayah kerja Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Singkawang cukup familiar dengan drone merk Da-Jiang Innovations (DJI) yang digunakan dalam scanning. DJI mavic air 2 ini memiliki size lebih besar dari Da-Jiang Innovations (DJI) mavic mini, dan lebih kecil dari Da-Jiang Innovations (DJI) mavic zoom. Drone ini memiliki ketahanan baterai 3500 mAh untuk 20-25 menit, dapat menjangkau maksimum 6 mil (10km), dengan berat 570 g dan sudah dilengkapi oleh sensor Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) 1/2-inch diatasnya sehingga sangat membantu dalam mengukur ketinggian pohon atau bangunan dan lainnya dibawah kondoktor Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). [4]

2.2 Berbagai Klasifikasi Jenis UAV

Ada beberapa UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) hadir dalam berbagai jenis, seperti:

- hibrida sayap tetap (*fixed-wing hybrid*),
- sayap tetap (*fixed-wing*),
- rotor tunggal (*single-rotor*), dan
- multi-rotor.

Dari jenis-jenis tersebut, sayap tetap dan multi-rotor merupakan yang paling populer. Hibrida sayap tetap menggabungkan karakteristik UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) sayap tetap dan kuadkopter, memadukan keunggulan kedua desain tersebut untuk aplikasi militer dan sipil, serta mengatasi keterbatasan yang melekat pada drone sayap tetap dan sayap berputar (*rotary-wing*).

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) sayap tetap digunakan secara luas di berbagai sektor, termasuk pertanian untuk pemantauan, pemetaan, dan penyebaran benih/pupuk, serta dalam bidang real estat, film, TV, minyak dan gas, konstruksi, perikanan, pengawasan satwa liar, pengelolaan air, dan keamanan. Wahana ini sangat efektif dalam pengawasan dan pengintaian selama bencana dan untuk memantau saluran transmisi udara, menawarkan cakupan citra yang luas dan pemantauan real-time dengan latensi rendah.

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) rotor tunggal dikenal karena keserbagunaan dan efisiensinya, terutama dalam pertanian untuk menyemprotkan pupuk dan pestisida. Meskipun memiliki tantangan dalam stabilisasi penerbangan dan sistem kontrol, jenis ini memiliki potensi signifikan dalam berbagai aplikasi.

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) multi-rotor, yang terdiri dari bikopter, trikopter, kuadkopter, heksakopter, dan oktaopter, sangat serbaguna dan digunakan dalam operasi militer, pengiriman barang, penyelamatan, prakiraan cuaca, pertanian, hiburan, komunikasi,



dan pertahanan. Jenis ini juga berperan dalam manajemen bencana, keselamatan konstruksi, pertanian presisi, dan pengawasan jaringan listrik, dengan kemajuan berkelanjutan dalam sumber daya, manajemen energi, penghindaran rintangan, dan sistem inspeksi yang diawasi manusia. Tabel 1 menyajikan berbagai klasifikasi jenis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dan bidang aplikasinya. [3]

2.3 Perencanaan Jalur

Sistem stasiun bumi mengambil data koordinat (lintang, bujur, ketinggian menara, panjang lengan menara/*cross-arm*) dari basis data awan (*cloud database*). Arsitektur ini membagi mode inspeksi menjadi 3:

- **Inspeksi Halus (*Fine Inspection*)**: Drone mendekati komponen spesifik (isolator, kabel) untuk mengambil foto detail.
- **Inspeksi Pengejaran Busur (*Arc Inspection*)**: Drone terbang memutar melintasi menara.
- **Inspeksi Saluran (*Line Inspection*)**: Drone terbang lurus menyusuri bentangan kabel antar menara.

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) melaksanakan inspeksi sesuai rencana penerbangan yang dibuat secara otomatis oleh Ground Station. Dengan menggunakan data dasar setiap menara transmisi, sistem menghasilkan titik-titik misi (*mission points*) sehingga UAV mampu mengambil gambar pada posisi yang telah ditentukan.

Tabel 4. 1 Kebutuhan inspeksi saluran transmisi tegangan tinggi

NO	Objek inspeksi	Tujuan pemeriksaan
1	Menara transmisi	Mendeteksi deformasi, kemiringan, keberadaan sarang burung, dan kerusakan lainnya.
2	Fondasi menara	Memeriksa kondisi tanah di sekitar fondasi.
3	Cross-arm	Memeriksa kemiringan dan kerusakan lengan silang.
4	Isolator	Mendeteksi kerusakan sirip isolator dan cincin gradasi (<i>grading ring</i>).
5	Baut dan mur	Memeriksa apakah baut terlepas atau hilang.
6	Batang penangkal petir dan sistem pentanahan	Memeriksa perubahan celah pelepasan listrik.
7	Peredam getaran	Mendeteksi kerusakan sambungan peredam getaran.
8	Klem konduktor	Memeriksa kondisi pengunci konduktor.
9	Kawat tanah	Mendeteksi helai kawat yang putus atau longgar.
10	Klem kawat tanah	Memeriksa kondisi pengunci kawat tanah.
11	Konduktor transmisi	Mendeteksi putusnya konduktor atau benda asing yang menempel.
12	Koridor transmisi	Mendeteksi pohon yang terlalu tinggi maupun bangunan ilegal di bawah jalur transmisi.

2.4 Deteksi Kabel Saluran Listrik

Selain mengevaluasi deteksi komponen saluran transmisi, penulis juga menguji algoritma deteksi kabel saluran listrik yang diusulkan. Pengujian dilakukan menggunakan video yang direkam oleh drone pada berbagai kondisi lingkungan, seperti:

- Daerah pegunungan,
- Kawasan berhutan,
- Jalan raya,
- Dan area dengan latar belakang langit terbuka.



Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan algoritma dalam mendeteksi kabel listrik pada kondisi nyata yang memiliki latar belakang kompleks.[10]

3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data tangkapan gambar atau foto dari drine yang dihasilkan dari UAV Drone Da-Jiang Innovation (DJI) Mavic Air 2 dilengkapi dengan sensor Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS), pada jaringan Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV di Kecamatan Singkawang Barat, Kota Singkawang.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Tempat penelitian akan dilakukan pada Perusahaan Listrik Negara PLN Unit Pelaksana Pengatur Beban (UP2B) Kalimantan barat dan PT. PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Singkawang. Penelitian ini akan dilakukan selama kurang lebih 4 bulan dimulai dari pengumpulan data sampai dengan penyusunan hasil penelitian. Bagian ini menguraikan tentang bahan penelitian, alat yang dipergunakan, metode penelitian, variable atau data, Analisis hasil serta diagram alir penelitian.

3.3 Metode Penelitian

Adapun beberapa metode penelitian yang digunakan dalam menyusun laporan ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literasi

Studi Literasi dilakukan untuk memperoleh teori-teori tentang gangguan disekitaran konduktor dan karakteristik dari transmisi khususnya mengenai jarak aman transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV dengan lingkungan serta teori-teori maupun refensi pendukung lainnya yang berguna untuk mempermudah dalam penulisan.

2. Metode Observasi

Metode observasi dilakukan menggunakan drone untuk mengumpulkan data-data teknis peralatan yang terhubung pada transmisi di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 3 Bengkayang dan di (Gardu induk) GI Singkawang, seperti mengumpulkan data-data saluran transmisi yang digunakan untuk data Right of Way (ROW).

3. Konsultasi dan Diskusi

Konsultasi dan diskusi dilakukan untuk memperdalam topik penelitian yang akan dibahas melalui pihak-pihak yang terkait dan berpengalaman serta dengan teman-teman mahasiswa untuk membantu dalam pengembangan dan penyelesaian masalah dalam penyusunan laporan.

3.4 Analisa Hasil

Analisa hasil merupakan pengolahan dari data yang diperoleh, yang selanjutnya akan dibuat laporan mengenai analisis jarak aman antara Saluran Udara tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV dengan lingkungan menggunakan drone pada line Pembangkit Listrik Tenaga (PLTU) 3 Bengkayang - (Gardu Induk) GI Singkawang.

3.5 Parameter Penilaian Perbandingan Metode Inspeksi

Untuk membandingkan kinerja metode inspeksi menggunakan drone dan metode inspeksi menggunakan teropong, penelitian ini menggunakan metode penilaian berdasarkan parameter kinerja yang diperoleh dari hasil observasi lapangan. Parameter yang dinilai meliputi kualitas visual, tingkat detail, akurasi identifikasi, efektivitas deteksi objek, kemampuan pengukuran Right of Way (ROW), dokumentasi hasil inspeksi, waktu inspeksi, biaya operasional, keselamatan kerja, dan potensi *human error*. Setiap parameter dinilai menggunakan skala persentase berdasarkan tingkat pencapaian terhadap kondisi ideal. Nilai 100% menunjukkan bahwa metode inspeksi mampu memenuhi seluruh indikator penilaian pada parameter tersebut, sedangkan nilai yang lebih rendah menunjukkan adanya keterbatasan terhadap kondisi ideal.



Penilaian dilakukan secara komparatif berdasarkan hasil observasi lapangan, kualitas data yang diperoleh, kemampuan identifikasi objek, efisiensi pelaksanaan inspeksi, serta kemampuan metode dalam mendukung kegiatan pemeliharaan jaringan transmisi. Nilai persentase tidak dimaksudkan sebagai hasil analisis statistik, melainkan sebagai bentuk evaluasi kinerja relatif antara metode inspeksi menggunakan drone dan metode inspeksi menggunakan teropong.

Tabel 3. 1 Kriteria Penilaian

Persentase	Kategori	Kriteria
81-100%	Sangat Baik	Seluruh indikator terpenuhi, hasil sangat jelas dan akurat
61-80%	Baik	Sebagian besar indikator terpenuhi, masih terdapat sedikit keterbatasan
41-60%	Cukup	Hanya sebagian indikator terpenuhi sehingga diperlukan verifikasi tambahan
21-40%	Kurang	Banyak indikator belum terpenuhi sehingga hasil kurang optimal
0-20%	Sangat Kurang	Hampir seluruh indikator tidak terpenuhi

Misalnya parameter Efektivitas Deteksi:

Drone menemukan 16 objek dan Teropong menemukan 10 objek

Maka

$$\text{Persentase Teropong} = \frac{10}{16} \times 100\% = 62,5\%$$

Drone dijadikan acuan (100%) karena menghasilkan jumlah objek terbanyak.

Parameter Waktu Inspeksi Drone 12 tower/2 hari dan Teropong 5 tower/ 2 hari

$$\frac{5}{12} \times 100 = 41,7\%$$

Artinya efektivitas waktu teropong sekitar 42% dibanding drone.

3.6 Pengukuran Tinggi Vegetasi dan Jarak Bebas (Right of Way)

Pengukuran tinggi vegetasi dan jarak bebas (*Right of Way*) terhadap konduktor dilakukan menggunakan drone DJI Mavic Air 2 melalui hasil foto udara yang diperoleh pada lokasi penelitian. Pengukuran bertujuan untuk mengetahui apakah vegetasi yang berada di bawah jalur transmisi masih memenuhi ketentuan jarak aman sesuai Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2021.

Tahapan pengukuran dilakukan sebagai berikut.

1. Drone diterbangkan pada area vegetasi yang berada di bawah jalur transmisi SUTT 150 kV untuk memperoleh citra udara secara tegak lurus terhadap objek.
2. Tinggi vegetasi diidentifikasi berdasarkan hasil pengukuran menggunakan aplikasi pendukung penerbangan drone.
3. Jarak bebas (*Right of Way*) antara pucuk vegetasi dan konduktor diukur menggunakan fitur pengukuran pada citra hasil inspeksi.
4. Hubungan antara tinggi pohon, tinggi konduktor, dan jarak bebas dinyatakan dengan persamaan:



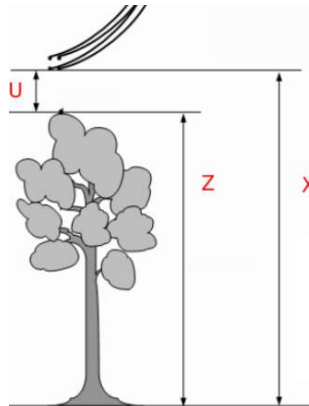
$$U = X - Z$$

[7]

Dengan:

- (U) = Jarak bebas (*Right of Way*) antara pucuk pohon dan konduktor (m)
- (X) = Tinggi konduktor dari permukaan tanah (m)
- (Z) = Tinggi vegetasi dari permukaan tanah (m)

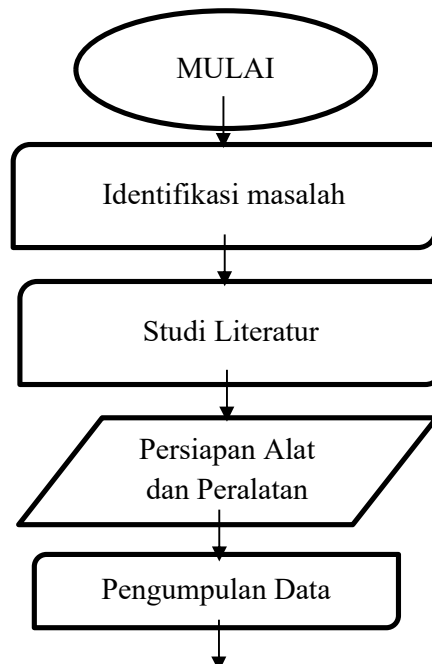
Apabila nilai (U) lebih kecil dari jarak aman yang dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2021, maka vegetasi tersebut dikategorikan sebagai objek berbahaya dan perlu dilakukan pemeliharaan berupa pemangkasan atau penebangan untuk menjaga keandalan sistem transmisi tenaga listrik.

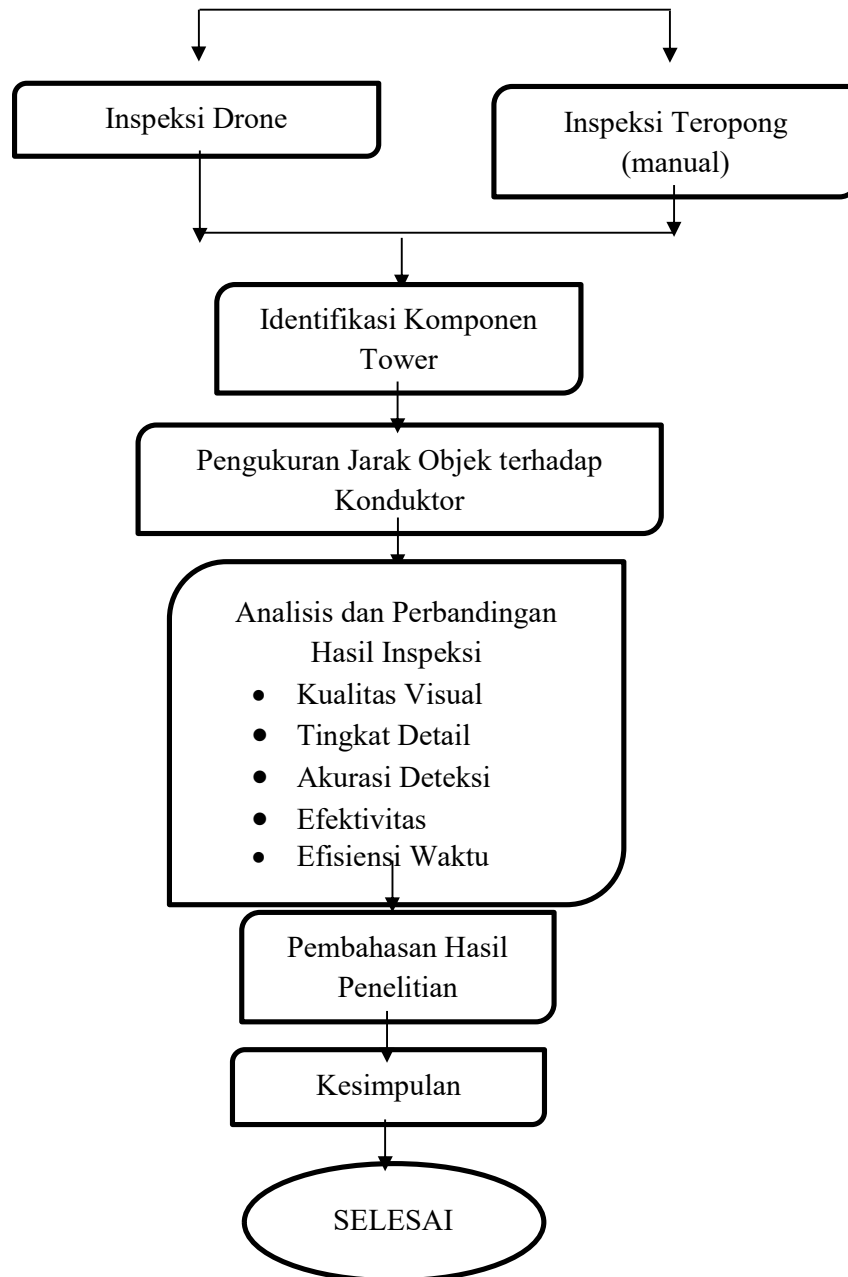


Gambar III. 1 Mengetahui ketinggian pohon dibawah jalur

3.7 Diagram Alir Penelitian

Sesuai dengan Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, maka keseluruhan proses penelitian dapat dipetakan ke dalam diagram alir sebagai berikut:





Gambar III. 2 Diagram Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Inspeksi

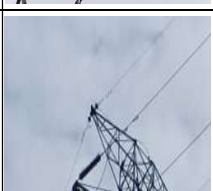
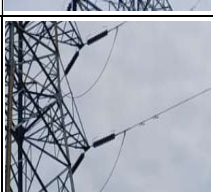
Pada bab ini, akan dipaparkan hasil penelitian mengenai inspeksi transmisi dengan menggunakan drone sebagai pendekatan baru, serta teropong sebagai metode lama. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas kedua metode dalam mendeteksi dan mendiagnosis masalah pada sistem transmisi. Data yang diperoleh dari pengujian di lapangan mencakup berbagai aspek, mulai dari waktu yang dibutuhkan untuk melakukan inspeksi, akurasi deteksi, hingga biaya operasional. Setiap bagian akan menyajikan hasil analisis yang mendetail, disertai dengan tabel yang relevan untuk mempermudah pemahaman. Melalui pembahasan ini, diharapkan dapat terlihat perbandingan yang jelas antara kedua metode, serta manfaat yang ditawarkan oleh penggunaan drone dalam inspeksi transmisi. Temuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap praktik inspeksi di industri.



4.1.1 Hasil Percobaan menggunakan Teropong/Manual dan Drone

Hasil dari teropong/manual dan foto dari drone di tempat yang sama dalam mengidentifikasi komponen - komponen pada tower SUTT 150 kV.

Tabel IV. 1 Hasil metode Teropong/Manual dan metode Drone

Komponen	Teropong		Drone	
Isolator	☒ Buram ☐ Tidak Buram ☒ Terlihat ☐ Tidak Terlihat		☐ Buram ☒ Tidak Buram ☒ Terlihat ☐ Tidak Terlihat	
Konduktor	☒ Buram ☐ Tidak Buram ☐ Terlihat ☒ Tidak Terlihat		☐ Buram ☒ Tidak Buram ☒ Terlihat ☐ Tidak Terlihat	
Arcing horn	☒ Buram ☐ Tidak Buram ☒ Terlihat ☐ Tidak Terlihat		☐ Buram ☒ Tidak Buram ☒ Terlihat ☐ Tidak Terlihat	
Jumper GSW	☒ Buram ☐ Tidak Buram ☐ Terlihat ☒ Tidak Terlihat		☐ Buram ☒ Tidak Buram ☒ Terlihat ☐ Tidak Terlihat	
Jumper joint	☒ Buram ☐ Tidak Buram ☒ Terlihat ☐ Tidak Terlihat		☐ Buram ☒ Tidak Buram ☒ Terlihat ☐ Tidak Terlihat	

Berdasarkan hasil inspeksi pada Tower 194 dan Tower 195, penggunaan drone dalam kegiatan inspeksi jaringan transmisi 150 kV mampu menghasilkan informasi visual yang lebih akurat dan jelas dibandingkan metode observasi menggunakan teropong. Hasil yang disajikan pada Tabel IV.1 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam kualitas citra serta tingkat keterlihatan setiap komponen tower. Citra yang dihasilkan drone memiliki resolusi yang lebih baik sehingga memudahkan proses identifikasi kondisi fisik setiap komponen transmisi. Secara umum, inspeksi menggunakan drone menghasilkan gambar yang lebih jelas (tidak buram) dan seluruh komponen dapat terlihat dengan baik, sedangkan inspeksi menggunakan teropong masih memiliki keterbatasan akibat jarak pengamatan, sudut pandang, serta faktor pencahayaan.

Pada komponen isolator, hasil inspeksi menggunakan teropong menunjukkan kondisi gambar buram meskipun komponen masih dapat terlihat. Sebaliknya, inspeksi menggunakan drone menghasilkan gambar yang tidak buram dan isolator terlihat dengan jelas. Hal ini menunjukkan bahwa drone mampu memberikan kualitas visual yang lebih baik sehingga memudahkan identifikasi kondisi fisik isolator.



Pada inspeksi komponen konduktor, metode observasi menggunakan teropong menghasilkan kualitas citra yang kurang optimal karena objek tampak buram sehingga kondisi konduktor tidak dapat diidentifikasi secara jelas. Sebaliknya, penggunaan drone menghasilkan citra yang lebih tajam sehingga kondisi konduktor dapat diamati secara lebih detail. Berbeda dengan metode drone yang menghasilkan gambar tidak buram dan konduktor dapat diamati dengan baik. Perbedaan ini disebabkan posisi konduktor yang relatif jauh dan sulit dijangkau dari titik pengamatan di permukaan tanah.

Untuk arcing horn, inspeksi menggunakan teropong masih memungkinkan komponen terlihat, namun kualitas gambar tetap buram sehingga detail komponen kurang jelas. Sementara itu, inspeksi menggunakan drone menghasilkan gambar yang tajam (tidak buram) dan arcing horn terlihat secara utuh, sehingga memudahkan proses pemeriksaan kondisi maupun potensi kerusakan.

Pada jumper GSW, metode teropong memberikan hasil yang kurang memadai karena gambar buram dan komponen tidak terlihat. Sebaliknya, penggunaan drone menghasilkan gambar yang tidak buram serta komponen dapat terlihat dengan jelas. Hal ini menunjukkan bahwa drone lebih efektif dalam mengamati komponen yang berada di posisi atas atau memiliki sudut pandang yang sulit dijangkau dari bawah.

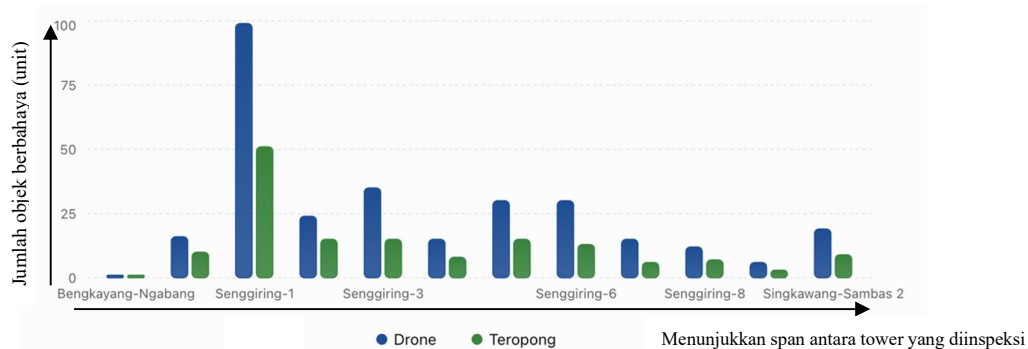
Pada jumper joint, inspeksi menggunakan teropong menghasilkan gambar buram, meskipun komponen masih dapat terlihat. Berbeda dengan inspeksi menggunakan drone yang menghasilkan gambar tidak buram dan seluruh bagian jumper joint terlihat dengan jelas. Dengan kualitas visual yang lebih baik, inspeksi menggunakan drone mampu meningkatkan akurasi dalam mendeteksi kondisi maupun potensi kerusakan pada sambungan konduktor. Secara keseluruhan, hasil inspeksi menunjukkan bahwa metode drone lebih efektif dibandingkan metode teropong pada seluruh komponen tower. Drone mampu menghasilkan citra yang lebih jelas, tidak buram, serta memungkinkan seluruh komponen terlihat dengan baik. Sebaliknya, metode teropong memiliki keterbatasan pada kualitas visual dan keterlihatan beberapa komponen, terutama konduktor dan jumper GSW. Oleh karena itu, penggunaan drone lebih efektif dan efisien untuk mendukung inspeksi visual jaringan transmisi karena mampu meningkatkan ketelitian dalam mengidentifikasi kondisi setiap komponen tower.

Tabel IV. 2 Perbandingan mendeteksi objek berbahaya/pohon

Drone	Manual/ Teropong	Span	Target Pohon		Status Validasi		Bulan
Tervalidasi		Span tower Bky- Ngabang	1	1	Aman	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower PLTU Bky-Skw	16	10	Kritis	Kritis	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Sngg- PLTU Bky	99	51	Waspada	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Sngg- PLTU Bky	24	15	Waspada	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Sngg- PLTU Bky	35	15	Waspada	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Sngg- PLTU Bky	15	8	Waspada	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Sngg- PLTU Bky	30	15	Waspada	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Sngg- PLTU Bky	30	13	Aman	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower S ngg-PLTU Bky	15	6	Waspada	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Sngg- PLTU Bky	12	7	Waspada	Waspada	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Skw- Smbs	6	3	Aman	Aman	Januari 2024
Tervalidasi		Span tower Skw- Smbs	19	9	Waspada	Waspada	Januari 2024
Senggiring (Sngg), Bengkayang (Bky), Singkawang (skw), dan Sambas (Smbs)							

Berdasarkan hasil inspeksi sebanyak 12 span pada jalur PLTU Bengkayang-Singkawang, terdapat perbedaan jumlah target pohon yang berhasil diidentifikasi menggunakan metode inspeksi drone dan metode inspeksi menggunakan teropong. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa inspeksi menggunakan drone berhasil mendeteksi sebanyak 16 target pohon, sedangkan inspeksi menggunakan teropong hanya mendeteksi 10 target pohon. Dengan demikian, terdapat selisih 6 target pohon atau sekitar 37,5% dari total temuan drone yang tidak berhasil teridentifikasi melalui inspeksi menggunakan teropong.

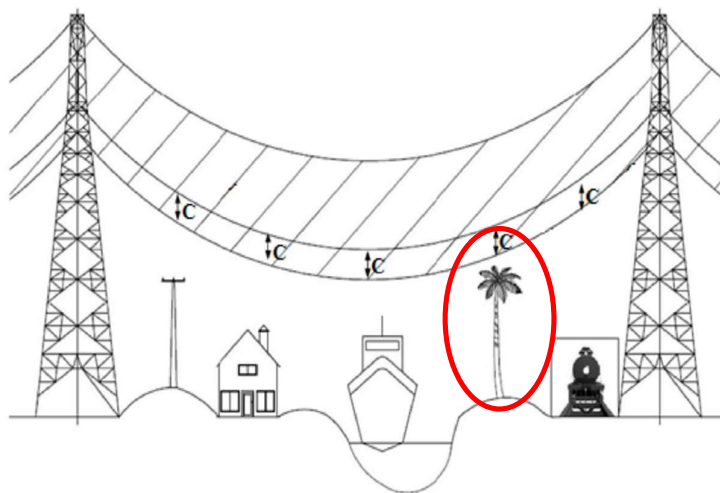
Berdasarkan hasil tersebut, efektivitas deteksi menggunakan teropong pada jalur PLTU Bengkayang-Singkawang mencapai sekitar 62,5% dibandingkan dengan hasil inspeksi menggunakan drone. Hal ini menunjukkan bahwa drone mampu meningkatkan kemampuan deteksi objek sebesar sekitar 37,5% dibandingkan metode inspeksi konvensional.



Gambar IV. 1 Grafik perbandingan penggunaan drone dan teropong

4.1.2 Hasil identifikasi objek bahaya jalur SUTT 150 kV menggunakan Drone

Hasil identifikasi objek berbahaya menunjukkan adanya satu titik yang masuk ke dalam ruang bebas SUTT objek bahaya tersebut terdeteksi sebagai status tidak aman yang berada diantara tower 194 dan tower 195 dengan jarak antar tower 352 m. Pada tower yang lain tidak ditemukan bahaya yang berarti baik vegetasi maupun bangunan yang ada di sekitar tower memiliki jarak aman antar konduktor.



Gambar IV. 2 Transmisi dan objek di sekitar transmisi

Teknik dalam menentukan jarak pohon terhadap konduktor baik dibawah jalur maupun diluar jalur ada beberapa hal yang perlu ditentukan saat melakukan penerbangan drone.

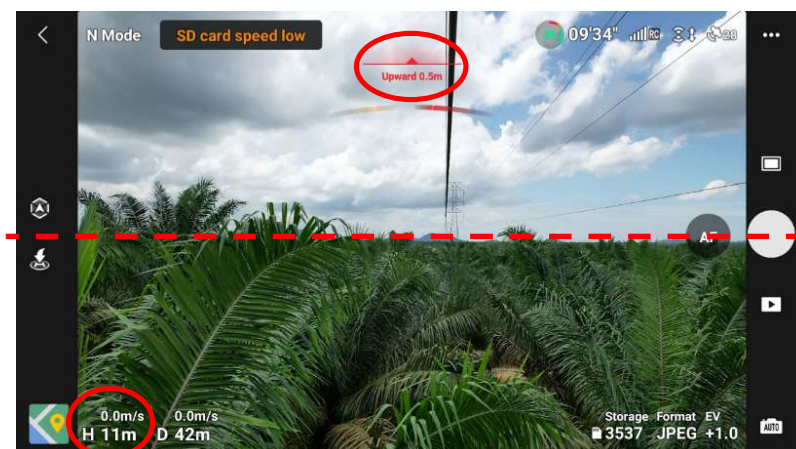


Gambar IV. 3 Teknik Penggunaan Drone

1. Mengetahui ketinggian terbang secara Vertikal (H 11m) yang artinya ketinggian terbang adalah 11 meter dari titik pertama kali drone take off. Perlu ditentukan juga bahwa ketinggian terbang drone sudah dikunci saat take off sehingga ketika ada lembah atau dataran tinggi dibawahnya drone tetap membaca titik 0 nya adalah saat take off. Jadi apabila kita menerbangkan drone tersebut pada ketinggian 150mdpl maka titik 0 nya adalah 150mdpl, ketika kita turun dibawah 100mdpl maka jarak ketinggian atau (H) yang terbaca adalah -50m walaupun dibawah terdapat lembah yang sangat dalam, hal ini dikarenakan pembacaan ketinggian bukan berdasarkan sensor jarak melainkan elavasi pergerakan drone secara vertikal.
2. Mengetahui jarak drone secara horizontal saat pertama take off (D 42m) Jarak horizontal di perlukan sebagai pengganti meteran untuk mengukur jarak pohon diluar jalur.
3. Upward 0,5m adalah jarak antara drone dari benda diatasnya atau konduktor, ini berfungsi untuk menentukan pohon dibawah kabel. Caranya adalah dengan memposisikan angle kamera 0 derajat dan ujung pohon berada ditengah layar seperti garis merah putus-putus pada gambar diatas.

4.1.3 Menentukan jarak pohon dibawah jalur

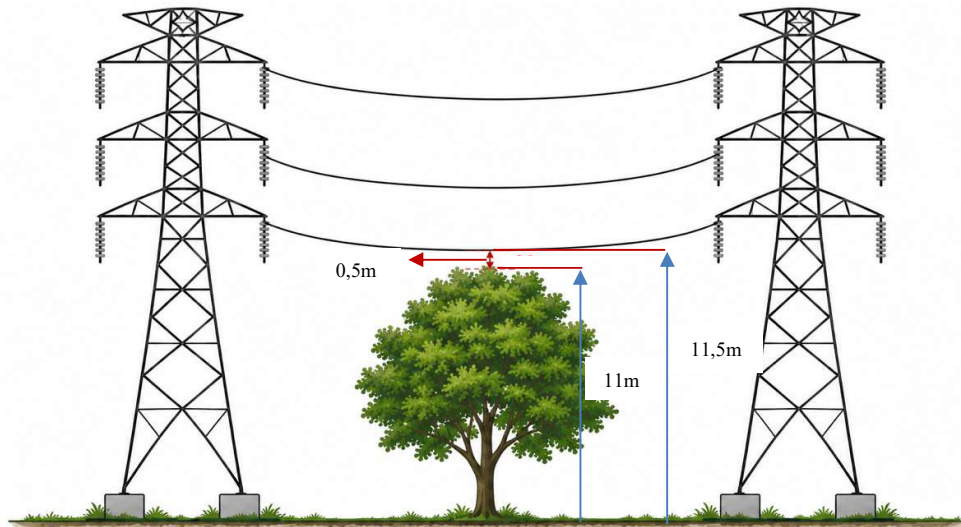
Bahaya keempat Teridentifikasi berada di antara tengah andongan konduktor, Pohon ini terdeteksi sebagai objek berbahaya, ditandai dengan lingkaran dibawah sebagai tinggi objek, dan memiliki jarak sebesar 11 m dari titik take off. Garis merah putus - putus horizontal sebagai batas dari ketinggian objek secara vertikal dan didapatkan 11 meter lingkaran di atas dengan warna merah (menunjukkan titik bahaya) hampir mendekati objek di atas yaitu konduktor dengan jarak 0,5 meter.



Gambar IV. 4 Ketinggian pohon dibawah jalur

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan drone diperoleh tinggi vegetasi sebesar 11 m, sedangkan tinggi konduktor terhadap permukaan tanah sebesar 11,5 m. Dengan menggunakan persamaan pengukuran yang telah dijelaskan pada Bab III diperoleh jarak bebas (*Right of Way*) antara pucuk vegetasi dan konduktor sebesar 0,5 m.

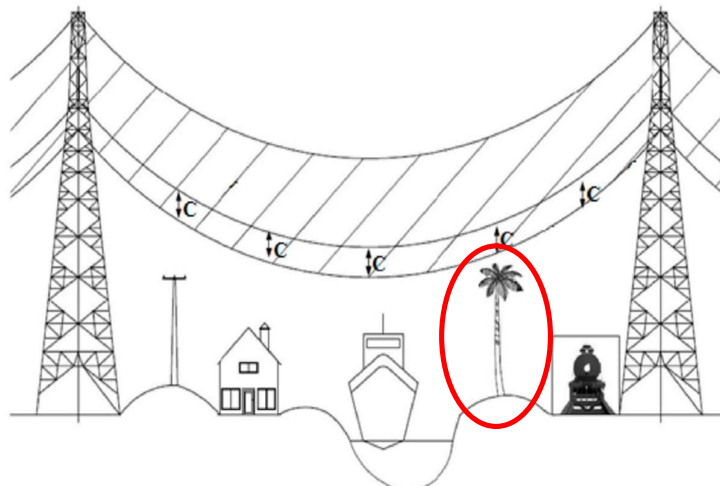
Hasil tersebut menunjukkan bahwa vegetasi telah berada pada jarak yang lebih kecil dibandingkan ketentuan jarak aman minimal 5 m sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2021. Oleh karena itu, vegetasi tersebut dikategorikan sebagai objek berbahaya yang memerlukan tindakan mitigasi untuk menjaga keandalan sistem transmisi tenaga listrik.



Gambar IV. 5 Ilustrasi Jarak Bebas (ROW) antara vegetasi dan konduktor SUTT 150 kV

Setelah diukur dengan menggunakan drone jarak antara titik bahaya ke konduktor memang sudah melewati batas aman yang telah diatur oleh ESDM No. 13 Tahun 2021 jarak aman untuk vegetasi adalah 5 m. Jarak antara titik bahaya dan konduktor yang diukur adalah 0,5 m yang berarti jarak tersebut tidak sesuai dengan jarak yang diatur melalui ESDM No. 13 Tahun 2021 jarak titik bahaya jalur transmisi listrik.[7]

4.1.4 Hasil identifikasi objek bahaya pada jalur transmisi SUTT 150kV menggunakan teropong atau manual



Gambar IV. 6 Transmisi dan objek-objek berbahaya di sekitarnya

Identifikasi objek bahaya SUTT menggunakan teropong atau manual di tempat yang sama berdasarkan parameter yang telah ditetapkan oleh ESDM No. 13 Tahun 2021 yang telah mengatur mengenai jarak bebas SUTT dan SUTET.



Gambar IV. 7 Identifikasi objek berbahaya teropong atau manual

Teridentifikasi berada di antara tengah konduktor pada tower dengan koordinat yang sama pada penggunaan drone. objek ini terdeteksi sebagai vegetasi atau pohon, setelah diukur dengan manual jarak antara titik bahaya ke konduktor tidak terdeteksi apakah sudah melewati batas aman yang telah diatur oleh ESDM No. 13 Tahun 2021 jarak aman untuk vegetasi atau pohon 5 meter, dalam pengukuran ini dapat terjadinya human error karena tidak dapat identifikasi ketinggian pohon walaupun sudah mendekati konduktor jadi tidak dapat menentukan jarak pohon dibawah jalur.

Setelah dilakukan pengukuran jarak pohon menggunakan drone, team Unit Layanan Transmisi dan Gardu induk (ULTG) Singkawang mengetahui status atau kondisi span tersebut dalam kategori aman atau kritis, dan dapat menentukan skala prioritas untuk dilakukan pemeliharaan secara terencana dengan efektif dan efisien.

4.1.5 Perbandingan Parameter Kinerja Inspeksi Drone dan Teropong Pada SUTT 150 kV

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada setiap tahapan inspeksi, dilakukan rekapitulasi terhadap parameter kinerja metode inspeksi menggunakan drone dan metode inspeksi menggunakan teropong. Rekapitulasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai keunggulan dan keterbatasan masing-masing metode berdasarkan parameter yang telah dianalisis pada penelitian ini.

Tabel IV. 3 Persentase Kinerja Metode Inspeksi Drone dan Teropong

No	Parameter Penilaian	Indikator	Drone	Teropong	Persentase drone	Persentase teropong
1	Kualitas visual citra	Tingkat kejernihan gambar	Sangat jelas	Kurang jelas	100%	60%
2	Identifikasi isolator	Komponen terlihat jelas	Jelas	Buram	100%	75%
3	Identifikasi konduktor	Komponen terlihat jelas	Terlihat	Tidak terlihat	100%	40%
4	Identifikasi arcing horn	Komponen terlihat jelas	Jelas	Buram	100%	70%



5	Identifikasi jumper GSW	Komponen terlihat jelas	Terlihat	Tidak terlihat	100%	30%
6	Identifikasi jumper joint	Komponen terlihat jelas	Jelas	Buram	100%	70%
7	Deteksi vegetasi	Jumlah objek terdeteksi	16 objek	10 objek	100%	62,50%
8	Pengukuran ROW	Dapat menentukan jarak objek terhadap konduktor	Sangat akurat	Tidak dapat diukur pasti	100%	45%
9	Dokumentasi hasil inspeksi	Foto/Video disimpan dan dianalisis	Resolusi tinggi	Visual langsung	100%	20%
10	Potensi human error	Risiko kesalahan operator	Rendah	Tinggi	95%	60%
11	Kemampuan Pengukuran tingg pohon	Atas, samping, bawah	Dapat dilakukan	Tidak dapat dilakukan	100%	0%
12	Efektivitas inspeksi keseluruhan	Berdasarkan seluruh parameter	Sangat efektif	Cukup efektif	96%	62%

Berdasarkan Tabel IV.3, metode inspeksi menggunakan drone menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan metode inspeksi menggunakan teropong pada hampir seluruh parameter yang dievaluasi. Drone mampu menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih baik sehingga seluruh komponen utama tower, meliputi isolator, konduktor, arcing horn, jumper GSW, dan jumper joint dapat diidentifikasi secara jelas. Sebaliknya, metode teropong memiliki keterbatasan pada kualitas visual akibat jarak pengamatan, sudut pandang, dan kondisi pencahayaan sehingga beberapa komponen tidak dapat diamati secara optimal.

Pada parameter deteksi vegetasi berbahaya, drone berhasil mengidentifikasi 16 objek, sedangkan metode teropong hanya mendeteksi 10 objek. Dengan demikian, efektivitas deteksi menggunakan metode teropong mencapai 62,5% dibandingkan hasil inspeksi menggunakan drone. Selain itu, drone memiliki kemampuan untuk mengukur jarak objek terhadap konduktor sehingga evaluasi terhadap pemenuhan standar Right of Way (ROW) berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2021 dapat dilakukan secara lebih akurat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan drone mampu meningkatkan kualitas inspeksi, mengurangi potensi human error, serta memberikan data yang lebih lengkap sebagai dasar penentuan prioritas pemeliharaan jaringan transmisi SUTT 150 kV.

4.2 Pembahasan

Secara ilmiah, udara berfungsi sebagai isolator alami antara konduktor bertegangan 150 kV dengan tanah. Namun, udara memiliki batas kekuatan dielektrik tertentu. Ketika cabang pohon tumbuh masuk ke dalam Ruang Bebas (jarak aman minimum), jarak antara konduktor dan pohon menjadi sangat sempit. Pohon mengandung kadar air dan mineral yang bersifat konduktif. Saat jarak tersebut terlalu dekat, terjadi ionisasi udara yang memicu flashover (loncatan bunga api listrik). Fenomena ini menciptakan jalur konduktif dari kabel menuju pohon dan terus ke tanah, yang secara teknis disebut sebagai Hubung Singkat ke Tanah (*Line-to-Ground Fault*). Arus gangguan yang sangat besar ini akan dideteksi oleh sistem proteksi (*Relay*), yang kemudian memerintahkan *Circuit Breaker* PMT untuk membuka aliran listrik guna mencegah kerusakan peralatan. Inilah yang menyebabkan terjadinya Trip atau pemadaman otomatis.

Gangguan tidak hanya terjadi melalui kontak fisik langsung, tetapi juga melalui induksi dan gradien tegangan yang tinggi. Pada tegangan 150 kV, medan elektromagnetik di sekitar konduktor sangat kuat. Jika pucuk pohon berada sangat dekat, dapat terjadi fenomena Corona



yang berkelanjutan, yang perlahan memanaskan sel-sel tumbuhan. Dalam kondisi cuaca lembap atau hujan, konduktivitas permukaan pohon meningkat drastis. Arus bocor yang mengalir melalui batang pohon menuju tanah dapat menyebabkan panas berlebih (efek termal) pada jaringan internal pohon. Hal ini sering kali menyebabkan kerusakan permanen pada sistem kelistrikan (mati total/trip permanen) jika gangguan tersebut tidak segera dihilangkan melalui pembersihan ruang bebas (*Row Clearance*). Oleh karena itu, inspeksi rutin menggunakan drone sangat krusial untuk memastikan tidak ada vegetasi yang melanggar batas vertikal maupun horizontal dari kabel transmisi.

Penggunaan drone dalam inspeksi area yang luas memiliki kelebihan seperti efisiensi waktu, akurasi data yang tinggi, kemampuan untuk menginspeksi lebih banyak tower dalam satu hari, serta sudut pandang yang lebih baik dibandingkan metode teropong. Dalam penelitian ini, drone mampu mengungkap detail yang mungkin terlewat jika hanya menggunakan teropong, seperti kerusakan kecil pada isolator atau kabel yang tidak terlihat jelas dari jarak jauh. Penggunaan drone telah terbukti meningkatkan efektivitas inspeksi dibandingkan dengan metode teropong. Data yang diperoleh dengan drone lebih akurat dan detail, mengurangi risiko human error. Namun, ada kekurangan seperti kebutuhan izin, konvensi, dan sertifikasi yang tidak dapat dipenuhi oleh semua orang, serta biaya perawatan drone yang mahal. Dalam hal waktu yang dibutuhkan. Pada inspeksi sederhana terhadap satu objek tertentu, penggunaan teropong dapat dilakukan lebih cepat karena tidak memerlukan persiapan penerbangan. Namun, untuk inspeksi jalur transmisi secara keseluruhan, penggunaan drone lebih efisien karena mampu menjangkau lebih banyak tower dalam waktu yang sama. Ini menunjukkan bahwa meskipun drone memberikan data yang lebih baik, teropong dapat menyelesaikan tugas lebih cepat dalam situasi tertentu.

Akurasi hasil inspeksi dengan menggunakan drone jauh lebih signifikan dibandingkan teropong. Data yang dihasilkan oleh drone cenderung lebih akurat, mengurangi kemungkinan kesalahan manusia. Dari segi biaya operasional, teropong lebih hemat dibandingkan dengan drone.

Tabel IV. 4 Perbandingan perawatan alat

DRONE	MANUAL/ TEROPONG	HARGA		KEMUNGKINAN KERUSAKAN	
Baterai	Baterai	Rp. 785.000	Rp. 40.000	40%	10%
Baling-baling	-	Rp. 250.000	Rp. -	20%	0%
Dinamo	-	Rp. 299.000	Rp. -	35%	0%
Kaki-kaki	-	Rp. 987.000	Rp. -	10%	0%

Biaya tinggi untuk baterai dan perawatan drone menjadi faktor utama yang membuat teropong lebih ekonomis dalam jangka panjang. Meskipun biaya awal untuk penggunaan drone lebih tinggi, analisis menunjukkan bahwa dalam jangka panjang, efisiensi waktu dan akurasi data yang lebih baik dapat menghemat biaya pemeliharaan. Drone mengurangi frekuensi pemeriksaan yang diperlukan, sehingga biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan jangka panjang dapat berkurang.

Dalam situasi cuaca buruk teropong lebih dapat diandalkan karena drone tidak dapat digunakan sesuai dengan standar keselamatan kerja (K3), yang melarang penggunaan drone dalam kondisi cuaca tidak mendukung. Ketika melakukan inspeksi di lokasi yang sulit dijangkau, mobilisasi drone lebih efisien. Meskipun drone memberikan banyak keuntungan, ada juga tantangan dalam penggunaannya, seperti kebutuhan akan izin penerbangan dan potensi risiko pada cuaca buruk. Teropong, meskipun lebih sederhana dan lebih murah, memiliki keterbatasan dalam jangkauan pandang dan detail pengamatan yang dapat dihasilkan. Namun,



aspek keselamatan juga harus dipertimbangkan, terutama dalam pengoperasian drone yang memerlukan keterampilan dan pelatihan.

Dari segi akses dan pelatihan, penggunaan teropong lebih mudah karena sertifikasi untuk teropong lebih sederhana dibandingkan drone, yang memerlukan pelatihan lebih intensif dan spesifik. Terdapat batasan jarak pandang yang signifikan antara penggunaan drone dan manual/teropong. Manual/Teropong memiliki jangkauan maksimum sekitar 120 meter dan terbatas pada sudut pandang atas ke bawah, sedangkan drone dapat menjangkau lebih jauh dan lebih fleksibel dalam arah pandang. Penggunaan drone tidak memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan, yang menjadi kelebihan dalam konteks keberlanjutan. Dalam konteks data yang diperoleh, hasil dari drone yang dilengkapi kamera resolusi tinggi lebih informatif dibandingkan pandangan langsung melalui teropong. Penggunaan drone mengurangi potensi human error. Dari analisis yang dilakukan, drone memberikan data yang lebih konsisten dan dapat diandalkan. Misalnya, hasil pengukuran ketinggian pohon atau benda asing di sekitar tower menunjukkan ketepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran menggunakan teropong. Hasil drone juga dapat diproses dan dianalisis lebih lanjut untuk perencanaan pemeliharaan, yaitu dengan memberikan lokasi spesifik di mana pemeliharaan harus dilakukan.

Untuk inspeksi dari Gardu Induk (GI) Singkawang ke Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 3 Bengkayang, penggunaan drone memungkinkan inspeksi 12 tower dalam 2 hari dengan cukup 2 orang, sementara teropong hanya dapat menginspeksi 5 tower dalam waktu yang sama. Hal ini sangat penting dalam konteks efisiensi operasional, terutama dengan meningkatnya kebutuhan untuk pemeliharaan yang tepat waktu dalam menjaga keandalan sistem.

Sebelum dilakukan scanning dan validasi jalur Right of Way (ROW) Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)/Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dengan menggunakan drone dan rumus data yang didapat belum akurat, sehingga berpotensi mengakibatkan gangguan pohon yang tidak termitigasi. Untuk memitigasi dan mengatasi potensi gangguan pohon tersebut, diperlukan perhitungan dan teknik scanning dan validasi jalur Right of Way (ROW) Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)/Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dengan menggunakan drone dan rumus.

Potensi gangguan pohon Right of Way (ROW) luar jalur, perlu dilakukan perhitungan yang lebih teliti dan akurat karena tinggi pohon dapat melebihi tinggi tower. Jika ini tidak termitigasi dengan baik akan menyebabkan gangguan bahkan kerusakan pada saluran transmisi baik pada konduktor maupun konstruksi tower. Hal ini dapat mengganggu keandalan sistem tenaga listrik dalam menyalurkan energy listrik.

Penelitian ini juga menekankan pentingnya menjaga jarak bebas minimum antara konduktor dan pohon, bangunan, serta objek lain di sekitarnya untuk mencegah gangguan dan menjaga keselamatan operasi. Berdasarkan data yang diambil, pengukuran jarak bebas menunjukkan bahwa beberapa area tidak memenuhi standar, oleh karena itu tindakan mitigasi seperti penebangan pohon mungkin diperlukan untuk menjaga keamanan sistem.

Ketika tim Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Singkawang melakukan pengumpulan data, mereka harus memperhatikan kebijakan dan regulasi yang berlaku tentang jarak bebas minimum antara konduktor dan objek di sekitarnya. Dengan melakukan perhitungan dan pemantauan yang lebih cermat, mereka dapat lebih proaktif dalam menangani masalah yang berpotensi menyebabkan kerusakan, sehingga menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Upaya untuk menjaga jarak yang aman tidak hanya melindungi infrastruktur, tetapi juga memenuhi tanggung jawab sosial terhadap keselamatan masyarakat yang tinggal di sekitarnya.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, rumusan masalah pertama mengenai identifikasi objek bahaya menggunakan drone telah terjawab, yaitu ditemukan satu objek vegetasi yang melanggar ruang bebas SUTT 150 kV. Selanjutnya, rumusan masalah kedua mengenai perbandingan metode inspeksi juga telah terjawab melalui analisis parameter kualitas visual,



akurasi, efektivitas deteksi, efisiensi waktu, biaya operasional, keselamatan kerja, dan dokumentasi hasil inspeksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai inspeksi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV pada jalur PLTU 3 Bengkayang - Gardu Induk (GI) Singkawang menggunakan drone dan metode inspeksi teropong (manual), dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan drone mampu mengidentifikasi kondisi komponen jaringan transmisi SUTT 150 kV secara lebih jelas dibandingkan metode inspeksi menggunakan teropong. Hasil inspeksi menunjukkan bahwa seluruh komponen utama, meliputi isolator, konduktor, arcing horn, jumper GSW, dan jumper joint, dapat diamati dengan kualitas visual yang lebih baik sehingga memudahkan proses identifikasi kondisi fisik maupun potensi kerusakan. Selain itu, hasil identifikasi menggunakan drone menemukan satu objek vegetasi yang memasuki ruang bebas (Right of Way/ROW) dengan jarak sekitar 0,5 meter terhadap konduktor. Jarak tersebut tidak memenuhi ketentuan jarak aman vegetasi berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2021, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan terhadap keandalan sistem transmisi tenaga listrik.
2. Berdasarkan hasil perbandingan, metode inspeksi menggunakan drone memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan metode inspeksi menggunakan teropong. Drone mampu mendeteksi 16 objek vegetasi berpotensi bahaya, sedangkan metode teropong hanya mendeteksi 10 objek. Hal ini menunjukkan bahwa metode teropong memiliki efektivitas deteksi sebesar 62,5% dibandingkan drone, atau dengan kata lain penggunaan drone meningkatkan kemampuan deteksi objek berbahaya sebesar 37,5%. Selain memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi, drone juga lebih unggul dalam kualitas visual, kemampuan pengukuran jarak ROW, dokumentasi hasil inspeksi, efisiensi waktu pelaksanaan inspeksi, serta mengurangi potensi human error. Sebaliknya, metode teropong memiliki keunggulan pada aspek biaya operasional yang lebih rendah dan kemudahan penggunaan di lapangan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan drone merupakan metode inspeksi yang lebih efektif untuk mendukung kegiatan pemeliharaan jaringan transmisi SUTT 150 kV. Pemanfaatan drone mampu meningkatkan akurasi inspeksi, mempercepat proses identifikasi objek berbahaya, mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan secara lebih tepat, serta berkontribusi dalam menjaga keandalan dan keselamatan operasi sistem tenaga listrik.

Saran

Dari pembahasan pada bab-bab diatas, ada beberapa usulan dan rekomendasi guna menghindari gangguan pohon pada transmisi yaitu berdasarkan hasil data scanning dan validasi jalur Right of Way (ROW) Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)/Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dengan menggunakan drone terbaru. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengeksplorasi penggunaan drone dengan teknologi yang lebih canggih, seperti penginderaan jauh dan sensor multispektral, untuk analisis yang lebih mendalam. Implementasi drone operasional dengan sistem manajemen pemeliharaan berbasis data dapat memaksimalkan efisiensi dan keamanan jalur transmisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhtar, D., & Harintaka. (2019). *Pemetaan Righth of Way (ROW) Menggunakan Wahana Udara Tanpa Awak Untuk Perencanaan Pengembangan Jalur Transmisi SUTT 150kV*.
- [2] Putra, D. N. (2021). *Inspeksi dan Pemeliharaan Jaringan Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro*.



- [3] Zheng et al., "State-of-the-Art Review on the Application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Power Line Inspections: Current Innovations, Trends, and Future Prospects," *Drones*, vol. 9, no. 4, pp. 265, 2025. <https://doi.org/10.3390/drones9040265>
- [4] Busch, D. D. (2023). *David Buschs DJI Mavic Air 2/25 Guide to Drone Photography*. UK: Group UK.
- [5] Pamudji, N. (2014). *Buku PDM Pengawasan dan Asesmen SUTT/SUTET*. Jakarta: PT. PLN Persero.
- [6] Springer Nature, "Drone-based fault recognition in power systems: a systematic review of intelligent methods," *Discover Applied Sciences*, May 2025. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06774-z>
- [7] Kementrian Energi dan Sumber Daya Manusia. (2021). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 tahun 2021*. (710). Retrieved from www.peraturan.go.id
- [8] Li et al., "Design and Application of a UAV Autonomous Inspection System for High-Voltage Power Transmission Lines," *Remote Sensing*, vol. 15, no. 3, pp. 865, 2023. <https://doi.org/10.3390/rs15030865>
- [9] Dewan et al., "A Drone Based Transmission Line Components Inspection System with Deep Learning Technique," *Energies*, vol. 13, no. 13, pp. 3348, 2020 (Correction: November 2023). <https://doi.org/10.3390/en13133348>
- [10] Pendekatan Geospasial Menggunakan LiDAR dan Drone untuk Identifikasi Objek Bahaya pada Koridor SUTT/SUTET," 2023. <https://sinta.eng.unila.ac.id/prosiding>