

# PREDIKSI DEGRADASI THROUGHPUT JARINGAN 4G LTE PADA DRONE KECEPATAN TINGGI, MENGGUNAKAN MODEL GARCIA-ALFREDSSON-BRUNSTROM-BECKMAN

Agung Wirjawan<sup>1</sup>, Rahmad Hidayat<sup>2</sup>  
Teknik Listrik, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

---

## Abstrak

Jaringan 4G LTE dirancang untuk keperluan User Equipment (UE) tidak bergerak, atau bergerak dengan kecepatan rendah. Kecepatan drone IOT yang tinggi akan mendegradasi unjuk kerja jaringan tersebut, khususnya throughput, ketika drone berfungsi sebagai Aerial UE (AUE). Untuk mengetahui sejauh mana degradasi throughput yang terjadi, dan berapa throughput terdegradasi, dilakukan prediksi dengan menggunakan model yang dikembangkan oleh Garcia-Alfredsson-Brunstrom-Beckman. Data SINR dan throughput ketika drone dalam keadaan statis dikutip dari hasil pengukuran lapangan pada jaringan 4G LTE Indosat di area Bandara Kupang. Data tersebut kemudian diolah dengan bantuan aplikasi Webplotdigitizer dan Excel untuk memprediksi throughput pada kecepatan drone 161 km/jam. Hasil prediksi menunjukkan download throughput menjadi sebesar 5.19 – 23.11 Mbps, upload throughput 18.53 – 27.64 Mbps, dan degradasi throughput antara 0.73 sampai -0.68 Mbps tergantung pada level SINRnya, makin tinggi SINR makin rendah degradasinya. Dari hasil prediksi tersebut selanjutnya dapat diketahui bahwa jaringan Indosat di area Bandara Kupang cukup mendukung operasional drone IOT sampai dengan kecepatan 161 km/jam, karena walaupun terdegradasi namun throughput masih mencukupi untuk mengirimkan sinyal kendali dan video antara drone dengan pengendali di darat melalui jaringan, yaitu 250 Kbps untuk download dan 8.25 Mbps untuk upload.

**Kata Kunci:** prediksi, throughput, 4G LTE, drone, model

## Abstract

4G LTE network is designed for stationary User Equipment (UE), or user moving at low speed. High speed IOT drones will degrade the performance of the network, especially throughput, when the drone is functioning as an Aerial UE (AUE). To find out the throughput degradation, and what the degraded throughput, predictions are made using the model developed by Garcia-Alfredsson-Brunstrom-Beckman. SINR and throughput when the drone is in stationary state are cited from the results of field measurements on Indosat's 4G LTE network in the Kupang Airport area. The data is then processed using Webplotdigitizer and Excel applications to predict throughput at a drone speed of 161 km/hour. The prediction results show that download throughput is about 5.19 – 23.11 Mbps, upload throughput is about 18.53 – 27.64 Mbps, and throughput degradation is between 0.73 to -0.68 Mbps depending on the SINR level, the higher the SINR the lower the degradation. From the results of these predictions, it can be seen that Indosat's network in the Kupang Airport area is sufficient to support IOT drone operations at speeds of up to 161 km/hour, because even though it is degraded, the throughput is still sufficient to transmit control and video signals between drones and controllers on the ground via the network, i.e. 250 Kbps for download and 8.25 Mbps for upload.

**Keywords:** prediction, throughput, 4G LTE, drone, model

## 1. PENDAHULUAN

Wahana terbang tanpa awak (*drone*) adalah teknologi masa depan yang tidak dapat dihindari penerapannya di Indonesia. Pengembangan dan pemanfaatan *drone* di Indonesia sudah dimulai sejak tahun 1978 untuk misi pengintaian, pemotretan dan sebagai sasaran tembak meriam (*target drone*)<sup>[1]</sup>.

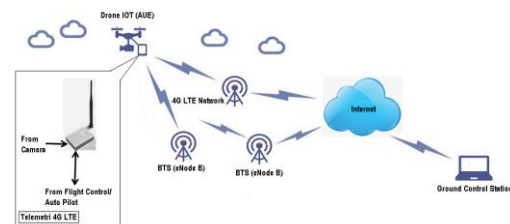
Populasi dan pemanfaatan *drone* di Indonesia sampai saat ini berkembang makin pesat. Berdasarkan data Asosiasi Pilot Drone Indonesia (APDI), sampai tahun 2021 populasi *drone* di Indonesia sudah mencapai jumlah sekitar 15.000 unit, dimana pemanfaatannya sangat beragam, mulai dari sekedar hobi dan rekreasi, komunikasi, pertanian, industri kehutanan dan perkebunan, pertambangan, *property*, konstruksi, pertanian, *real estate*, sampai pertahanan<sup>[2][3]</sup>.

Sistem pengendalian *drone* di Indonesia saat ini sebagian besar adalah *Visual Line of Sight* (VLOS), dimana *drone* harus selalu terlihat secara langsung oleh pilot tanpa alat bantu, dan *drone* dikendalikan secara langsung menggunakan *remote control*, dimana sinyal kendali dan informasi (data maupun gambar) dipertukarkan antara *drone* dengan *remote control* melalui transmisi radio. Dengan sistem kendali VLOS ini jangkauan terbang *drone* menjadi terbatas, yaitu: hanya sejauh 500 meter saja dari pilot, jika tanpa penghalang pandangan, atau lebih dekat lagi jika terdapat banyak penghalang pandangan<sup>[4]</sup>.



Gambar 1, Sistem kendali *drone* *Visual Line of Sight* (VLOS)

IOT adalah teknologi yang memungkinkan suatu perangkat untuk dapat berkomunikasi, mengendalikan, menghubungkan, dan bertukar data dengan perangkat lain melalui, atau selama perangkat tersebut masih terhubung ke jaringan internet. Penggabungan teknologi *drone* dan IOT menjadi *internet of drone* memungkinkan *drone* untuk dapat berkomunikasi dengan *remote control*nya melalui jaringan *mobile internet*, sehingga memungkinkan *drone* untuk dioperasikan dengan jangkauan terbang yang lebih jauh, sejauh cakupan layanan *mobile internet* yang tersedia. Dengan demikian pemanfaatan *drone* dapat menjadi lebih luas lagi, seperti *drone surveillance* atau *cargo*<sup>[5][6][7]</sup>.



Gambar 2, Internet of Drone

Jaringan *mobile internet* yang tersedia di Indonesia saat ini adalah jaringan *internet* yang berbasis teknologi seluler generasi ke empat, dengan diimplementasikannya teknologi 4G LTE pada hampir semua infrastruktur seluler di Indonesia. Sampai dengan akhir tahun 2018 sudah 82% wilayah

Indonesia terlayani jaringan internet 4G LTE [8], dan pada akhir 2022 semua desa di Indonesia sudah terlayani jaringan internet 4G LTE [9]. Sehingga dapat dipastikan pada tahun 2023 sudah seluruh wilayah Indonesia terjangkau layanan internet berbasis 4G LTE, dan dalam waktu tidak lama lagi akan bermigrasi ke jaringan 5G. Dengan demikian implementasi *internet of drone* dalam bentuk *drone surveillance* atau *cargo* sudah dapat direalisasikan.

Jaringan 4G LTE dirancang untuk keperluan UE tidak bergerak (statis), atau bergerak dengan kecepatan rendah. Ketika UE bergerak dengan kecepatan tinggi maka akan terjadi degradasi pada unjuk kerja jaringan tersebut, khususnya *throughput*, yang akan mengakibatkan turunnya kualitas sinyal kendali maupun informasi yang dipertukarkan antara *drone* dengan pengendali di darat (GCS) [10] [11]. Berdasarkan Permenhub No. 63 tahun 2021, operator *drone* di seluruh wilayah NKRI diijinkan untuk menerbangkan *dronenya* sampai dengan kecepatan 87 knot (161 km/jam), dengan demikian dapat diperkirakan *throughput* sinyal kendali maupun informasi akan terdegradasi [12].

Pengukuran lapangan pada parameter unjuk kerja jaringan 4G LTE di wilayah Indonesia sudah banyak dilakukan, namun hanya untuk UE dalam keadaan statis. Dari hasil pengukuran lapangan tersebut muncul pertanyaan, seberapa jauh *drone* yang terbang dengan kecepatan 161 km/jam akan mendegradasi *throughput* jaringan pada area tersebut, dan apakah dengan *throughput* terdegradasi jaringan masih memenuhi syarat untuk digunakan sebagai basis telekomunikasi *internet of drone*. Sampai saat ini belum ada data

pengukuran maupun prediksi terkait hal tersebut.

Perlu dilakukan prediksi untuk mengetahui: berapa degradasi *throughput* yang terjadi, dan berapa *throughput* terdegradasi pada suatu area, dikaitkan dengan *drone* yang diterbangkan dengan kecepatan operasi 161 km/jam.

## 2. METODE PREDIKSI

Metode prediksi yang dipilih adalah metode yang dikembangkan pada penelitian Garcia, Alfredsson, Brunstrom dan Beckman. Metode ini didasarkan pada hasil pengukuran empirik unjuk kerja peralatan *mobile internet*, yang terpasang pada kereta api berkecepatan tinggi, dan terhubung ke *internet* berbasis jaringan seluler 4G LTE di sepanjang perjalanan. Metode ini menghasilkan suatu model berupa kurva hubungan antara koefisien *slope (throughput per kecepatan)* dengan SINR.

Kurva hubungan antara koefisien *slope* dengan SINR tersebut kemudian diekstraksi menggunakan aplikasi *Webplotdigitizer*, dan diolah menggunakan aplikasi *Excel* untuk mendapatkan model matematika dalam bentuk persamaan polinomial orde 4.

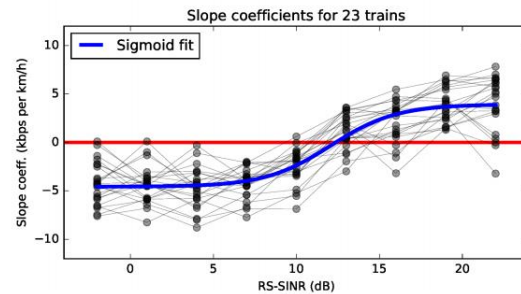
Model matematika tersebut kemudian digunakan untuk mencari koefisien *slope* dengan SINR hasil pengukuran lapangan sebagai variable input, yang kemudian digunakan untuk memprediksi *throughput* pada kecepatan 161 km/jam. *Throughput* tersebut kemudian dicari selisihnya dengan *throughput* statis dari hasil pengukuran lapangan untuk mendapatkan degradasinya.

## 2.1 Model Garcia-Alfredsson-Brunstrom-Beckman

Pada tahun 2016 tiga peneliti dari Universitas Karlstad, yaitu: Johan Garcia, Stefan Alfredsson dan Anna Brunstrom, serta satu peneliti dari KTH Royal Institute of Technology Swedia, yaitu: Claes Beckman, melakukan penelitian untuk mencari hubungan antara *throughput* jaringan seluler 4G LTE dengan kecepatan wahana bergerak. Penelitian dilakukan selama enam bulan dengan cara melakukan pengukuran *throughput* pada *router* yang terpasang di dalam gerbong penumpang kereta api, yang menyediakan layanan akses *internet* melalui jaringan seluler 4G LTE setempat, selama kereta api tersebut berjalan.

Pengukuran *throughput* dan SINR dilakukan pada 97 kereta api, yang berjalan pada rute: Stockholm-Göteborg, Stockholm-Malmö, dan Stockholm-Karlstad, dengan kecepatan antara 0-200 km/jam, total jarak 1425 km, dan melalui 11644 sel dari beberapa operator. Hasil pengukuran kemudian di filter untuk mendapatkan 514437 data pengukuran yang valid dari 23 kereta api.

Data hasil pengukuran yang sudah difilter tersebut kemudian diolah menggunakan metoda regresi linier, regresi non linier Levenberg Marquardt, dan regresi Random Forest, sehingga kemudian didapatkan koefisien *slope*, yaitu hubungan antara *throughput* dengan kecepatan, serta kurva hubungan antara koefisien *slope* dengan SINR sebagai berikut [13]:



Gambar 3, Kurva Koefisien Slope Versus SINR yang di Ekstrak dari 514437 Data Pengukuran yang Valid dari 23 Kereta Api

## 2.2 Langkah Langkah Prediksi

Langkah pertama adalah mengekstrak kurva pada gambar 3 menjadi dataset 128 titik, dengan menggunakan aplikasi *Webplotdigitizer*. Jumlah titik dalam dataset merepresentasikan kualitas *digitizing*, makin banyak titik makin *smooth digitizingnya*. Dalam kasus ini 128 titik sudah cukup *smooth* dan mewakili [14].

Langkah kedua adalah mengolah dataset, dengan menggunakan aplikasi *Excel*, fitur *trend line* dan *equation*, menjadi sebuah persamaan model matematik polinomial orde 4, yang menunjukkan hubungan antara koefisien *slope* (dalam satuan kbps per km/jam) dengan SINR (dalam satuan dB) sebagai berikut [15]:

$$y = -0,0002 x^4 + 0,0053 x^3 + 0,0005 x^2 - 0,083 x - 4,63493$$

dimana y adalah koefisien *slope*, dan x adalah SINR.

Langkah ketiga, mengolah hasil pengukuran lapangan, yang dikutip dari penelitian tim Jurusan Teknik Elektro Universitas Nusa Cendana, yaitu: Eleazar Belo, Don Pollo, dan Sarlince Manu, pada pertengahan tahun 2021, di kota Kupang, dimana pengukuran ini dilakukan secara statis. Dari sampel parameter kinerja jaringan 4G LTE Indosat, yang meliputi: RSRP,

RSRQ, SINR dan *Throughput*, yang diukur pada 730 titik pengukuran, yang tersebar di kota Kupang, diambil 80 sampel SINR dari 80 titik, 4 sampel *download throughput* dan 4 sampel *upload throughput*, masing masing dari 4 titik, yang semuanya diambil tersebar pada area Bandara Kupang. Pemilihan sampel ini didasarkan pada pertimbangan: area Bandara Kupang diperkirakan menjadi area dimana *drone* akan sering dioperasikan, BTS yang diukur serupa dengan BTS yang dimodelkan oleh Garcia dkk, yaitu: 4G LTE, band 800, 900 dan 1800 MHz, bandwidth sampai dengan 20 MHz, serta ketersediaan data [16] [17]. Prediksi untuk area lain dapat juga dilakukan dengan sampel data yang berbeda, misalnya untuk area Tasikmalaya dengan jumlah sampel 103 [18].

Dari 80 sampel SINR, 4 sampel *download throughput* dan 4 sampel *upload throughput* diekstrak menjadi masing masing 3 sampel, yaitu: minimum, rata rata dan maksimum, seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1, Ekstraksi Parameter SINR, *Download Throughput* dan *Upload Throughput* BTS Indosat Area Bandara Kupang Tahun 2021

	SINR (dB)	Download Throughput (Mbps)	Upload Throughput (Mbps)
Min.	- 3.2	5.92	19.26
Rata-rata	7.63	16.07	21.97
Maks.	20.4	22.43	26.96

Langkah keempat, melakukan prediksi *throughput* pada kecepatan *drone* 161 km/jam, dengan memasukkan data SINR pada tabel 1, kedalam persamaan polinomial orde 4 yang sudah didapat, dan bantuan aplikasi *Excel*. Hasil prediksi *download throughput*, *upload throughput*, minimum, rata rata maupun

maksimum disajikan pada tabel 2. Degradasi *throughput* didapatkan dengan mencari selisih antara *download throughput* maupun *upload throughput* hasil prediksi dengan *throughput* hasil pengukuran statis lapangan di area Bandara Kupang. Degradasi *throughput* juga disajikan pada tabel 2.

### 3. HASIL PREDIKSI DAN PEMBAHASAN

Tabel 2, Hasil Prediksi *Download* dan *Upload Throughput* , serta Degradasinya pada Keadaan UE bergerak dengan Kecepatan 161 km/jam

	Koefisien Slope (Kbps per km/j)	DL Throughput Terdegradasi (Mbps)	UL Throughput Terdegradasi (Mbps)	Degradasi Throughput (Mbps)
SINR Min	-4.56	5.19	18.53	0.73
SINR Rata-rata	-3.56	15.50	21.40	0.57
SINR Maks	4.24	23.11	27.64	-0.68

Dari tabel 1 dan 2 didapatkan, ketika *drone* terbang dengan kecepatan 161 km/jam, *download throughput* menjadi sebesar 5.19 – 23.11 Mbps, *upload throughput* 18.53 – 27.64 Mbps, dan terjadi degradasi *throughput* sebesar antara 0.73 sampai -0.68 Mbps tergantung pada level SINRnya, makin tinggi SINR makin rendah degradasinya, bahkan diatas nilai SINR tertentu degradasinya negatif, atau justru terjadi kenaikan *throughput*.

Dari beberapa penelitian terdahulu terjadinya fenomena tersebut dapat dijelaskan bahwa, kenaikan kecepatan UE akan menurunkan *throughput*, karena: terjadi *handover* yang lebih sering, yang mengakibatkan

pengiriman data sering tertunda, karena pada setiap *handover* pengiriman data akan berhenti sesaat; terjadi *fading* oleh karena efek propagasi, yang mengakibatkan penurunan SINR; dan terjadi *doppler shift* yang mengakibatkan interferensi antar subkanal, yang juga menyebabkan turunnya SINR [19][20][21].

Kenaikan SINR memperbaiki *throughput* dapat dijelaskan dengan teorema Shannon-Hartley, yaitu bahwa: kapasitas kanal komunikasi (*bitrate*) bergantung kepada *bandwidth* dan SNR. Makin tinggi *bandwidth* dan/atau SNR makin tinggi kapasitas kanal komunikasi tersebut [22].

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil prediksi disimpulkan terjadi penurunan *throughput* (degradasi) pada kecepatan *drone* 161 km/jam jika dibandingkan dengan ketika *drone* statis, kecuali pada SINR yang tinggi, dimana justru terjadi peningkatan *throughput* (gradasi).

Kebutuhan *download throughput* untuk *drone* adalah sekitar 250 Kbps, karena hanya digunakan untuk pengiriman sinyal kendali dengan protokol Mavlink saja. Sedangkan kebutuhan untuk *upload throughput* lebih besar, sekitar 8.25 Mbps, karena selain digunakan untuk pengiriman sinyal kendali juga sinyal video 1080p dengan kompresi H.265 [23] [24].

Dari hasil prediksi dan kebutuhan *throughput drone*, disimpulkan bahwa jaringan 4G LTE Indosat di area Bandara Kupang cukup mendukung operasional drone IOT sampai dengan kecepatan 161 km/jam, karena walaupun terdegradasi namun *throughput* masih mencukupi untuk mengirimkan sinyal kendali dan video

antara *drone* dengan pengendali di darat melalui jaringan.

Untuk mengetahui berapa besar *error* (kesalahan) prediksi ini, disarankan untuk melakukan pengukuran parameter *throughput* pada area yang sama, dengan menggunakan *drone* berkecepatan tinggi sebagai AUE, pada penelitian berikutnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumbodo S. (2018). Kisah Pro- yek Drone/UAV Chandra Dirgantara. Aviahistoria. <https://aviahistoria.com/2018/07/19/kisah-proyek-drone-uav-chandra-dirgantara/>.
- [2] Wijaya A. (2021). Kemenhub Lun curkan Registrasi dan Pilot Drone Secara Online. Antara. <https://www.antaranews.com/berita/2100118/kemenhub-luncurkan-registrasi-dan-pilot-drone-secara-online>.
- [3] Helmi. (2020). Penggunaan Dro- ne untuk Kepentingan Bisnis di Indonesia. Bisnis News. <https://bisnisnews.id/detail/berita/penggunaan-drone-untuk-kepentingan-bisnis-di-indonesia>.
- [4] EASA. (2015). Concept of Operations for Drones, A risk based approach to regulation of unmanned aircraft. European Aviation Safety Agency (EASA), pp 4.
- [5] Jo D & Kwon Y. (2019). Development of Autonomous VTOL UAV for Wide Area Surveillance. World Journal of Engineering and Technology, 7, pp 232-235.
- [6] Admin (AST). (2021). FGD Seri-es Studi Kebijakan Transportasi Udara: Pemanfaatan Drone Logistik untuk Wilayah 3T dan Rawan Bencana. Badan Kebijakan Trans- portasi Kementerian Perhubungan. <https://baketrans.dephub.go.id/berita/f>

[gd-series-studi-kebijakan-trans portasi-udara-pemanfaatan-drone-logistik-untuk-wilayah-3t-dan-rawan-bencana.](#)

[7] Admin (AST). (2022). Operasi Drone dalam Pendistribusian Logistik ke Wilayah Terpencil Terluar Tertinggal 3T dan Wilayah Rawan Bencana. Badan Kebijakan Transportasi Kementerian Perhubungan. <https://baketrans.dephub.go.id/berita/operasi-drone-dalam-pendistribusi-an-logistik-ke-wilayah-terpencil-ter-luar-tertinggal-3t-dan-wilayah-rawan-bencana>.

[8] Daon001. (2018). Cakupan 4G Indonesia Terbaik di Asean. Kementerian Kominfo RI. <https://www.kominfo.go.id/content/detail/15115/cakupan-4g-indonesia-terbaik-di-asean/0/sorotan-media>

[9] Viska. (2020). Kominfo Targetkan 12 Ribuan Desa Dapat 4G. Kementerian Kominfo RI. <https://www.kominfo.go.id/content/detail/28917/kominfo-targetkan-12-ribuan-desa-dapat-4g/0/sorotan-media>

[10] Qazi S, Siddiqui AI & Wagan. (2016). UAV based Real Time Video Surveillance over 4G LTE. International Conference on Open Source Systems and Technologies, pp 4-5

[11] Kar UN & Sanyal DK. (2019). Experimental Analysis of Device to Device Communication. Twelfth International Conference on Contemporary Computing (IC3), pp 5.

[12] Menteri Perhubungan RI. (2021). Peraturan Menteri Perhubungan RI, No. PM 63 Thn 2021 Tentang: Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 107, Sistem Pesawat Udara Kecil Tanpa Awak, pp 25.

[13] Garcia J, Alfredsson S, Brunstrom A & Beckman C. (2017). Train Velocity and Data Throughput - A Large Scale LTE Cellular

Measurements Study. IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), pp 1-6.

[14] Rohatgi A. (2022). Webplotdigitizer User manual, Ver. 4.6. <https://automeris.io/WebPlotDigitizer>, pp 6-22.

[15] Microsoft 365 Support. (2023). Add a trend or moving average line to a chart. Excel Help & Training. <https://support.microsoft.com/en-us/office/add-a-trend-or-moving-average-line-to-a-chart>.

[16] Belo EM, Pollo DE, Manu SO. (2021). Analisis Kinerja Jaringan 4G Long Term Evolution (LTE) Berdasarkan Data Drive Test pada PT Indosat Kupang. Jurnal Media Elektro / Vol. X / No. 2, pp 80-82.

[17] Pertiwi WK, Yusuf O. (2021). Daftar Pita Frekuensi Operator Seluler di Indonesia dan Alokasinya. Kompas.com 24/6/2021. <https://tekno.kompas.com/read/2021/06/24/16020067/daftar-pita-frekuensi-operator-seluler-di-indonesia-dan-alokasinya>

[18] Hidayat R, Fauzi FR, Dwiyanto, Anung, Liklikwatil Y. (2019). Analisis of 4G Data Service Quality: Case Study of Tasikmalaya Area, DOI: 10.1088/1742-6596/1175/1/012126. IOP Publishing, pp 5-6.

[19] Guirado R, Padró JC, Zoroa A, Olivert J, Bukva A, Cavestany P. (2021). StratoTrans: Unmanned Aerial System (UAS) 4G Communication Framework Applied on the Monitoring of Road Traffic and Linear Infrastructure. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), pp 8.

[20] Editorial Team. (2020). What is Fading ?. Everything RF, 10 June 2020. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-signal-fading>.

- [21] Shukla R. (2016). Effect of UE Speed on MIMO Channel Capacity in LTE. University of North Texas MSc Thesis, pp 6,7.
- [22] Wikipedia. (2023). Shannon – Hartley Theorem. Wikipedia 23 March 2023, [https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley\\_theorem](https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley_theorem).
- [23] Koubaa A, Allouch A, Alajlan M, Javed Y, Belghith A, Khalgui M. (2015). Micro Air Vehicle Link (MAVLink) in a Nutshell: A Survey. Journal of Latex Class Files, Vol. 14, No. 8, August 2015, pp 2.
- [24] Brid.TV. (2022). H.264 vs H.265 FAQ: What bitrate is good for H.265. Brid.TV, 26 August 2022. <https://www.brid.tv/h264-vs-h265/>.