

PURWARUPA MUATAN *AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE CONTRACT (ADS-C)* PADA PESAWAT *MICROLIGHT* MENGGUNAKAN JARINGAN SELULER 4G LTE

PROTOTYPE OF AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE CONTRACT (ADS-C) PAYLOAD ON MICROLIGHT AIRCRAFT USING 4G LTE CELLULAR NETWORKS

Farid Farhan Fadhlurrahman¹, Heroe Wijanto², Girardi (Gerry) F Soejatman³

^{1,2} Universitas Telkom, Bandung ³NeoSky.id

¹faridfarhan@students.telkomuniversity.ac.id, ²heroe@telkomuniversity.ac.id, ³gerry@neosky.id

Abstrak

Pesawat *microlight* adalah jenis pesawat yang hanya mampu mengangkut 2 orang. Jenis pesawat ini sangat digemari di dunia Olahraga Kedirgantaraan. Namun pesawat ini sangat susah dideteksi oleh RADAR Bandara. Salah satu solusi untuk menyelesaikannya yaitu menggunakan ADS-C. ADS-C Adalah teknologi *flight tracker transponder* yang digunakan di dunia penerbangan oleh pemandu lalu lintas udara (PLLU) diterapkan di pesawat terbang yang berfungsi untuk mengirim informasi identitas dan posisi pesawat yang sedang mengudara menggunakan satelit *datalink*. Namun harga penyewaan satelit *datalink* untuk *transponder* ADS-C pada pesawat masih relatif mahal dan tidak bisa dijangkau oleh penggiat hobby pesawat *microlight*.

Pada tugas akhir ini dirancang sebuah konsep model dan muatan *low cost ADS-C transponder* berupa *flight tracker* untuk pesawat jenis *microlight* yang berfungsi sebagai alat transmisi data ADS-C dengan memanfaatkan jaringan seluler 4G LTE yang tersebar di wilayah Indonesia agar pesawat *microlight* dapat dideteksi oleh *Air Traffic Control* (ATC). Dalam tugas akhir ini perancangan muatan menggunakan *GPS Module* sebagai sumber informasi posisi, ketinggian, dan kecepatan pesawat, *Raspberry Pi 3 Model B* sebagai minikomputer yang mengolah data ADS-C, *modem Huawei E8372* sebagai media penyambungan jaringan seluler 4G LTE. Komponen modul tersebut akan didesain sesuai ukuran agar dapat diletakkan pada pesawat *microlight* dan sejenisnya.

Dari hasil pencapaian perancangan dan pembuatan purwarupa diharapkan dapat menyelesaikan masalah yang ada di dunia penerbangan khususnya di penerbang pesawat *microlight* dan pemandu lalu lintas udara (ATC) dan hal yang bermanfaat. Selain itu dari hasil pengujian muatan ini diharapkan mendapatkan hasil dan parameter yang didapat seperti efisien muatan dan keakuratan data yang didapatkan selama percobaan dan penelitian.

Kata Kunci : ADS-C, Muatan, Pesawat *Microlight*

Abstract

Microlight aircraft is a type of aircraft that can only carry 2 people. This type of aircraft is very popular in the world of aerospace. However, this aircraft is very difficult to detect by airport RADAR. One solution to solve this is to use ADS-C. ADS-C is a flight tracker transponder technology used in the world of aviation by air traffic guides (PLLU) applied to aircraft that serves to send identity information and the position of aircraft that are in the air using satellite datalink. However, the rental price for datalink satellites for ADS-C transponders on aircraft is still relatively expensive and cannot be reached by hobbyists for microlight aircraft.

In this final project, a low cost ADS-C transponder model and payload concept is designed in the form of a flight tracker for microlight aircraft that functions as an ADS-C data transmission tool by utilizing the 4G LTE cellular network spread throughout Indonesia so that microlight aircraft can be detected by air traffic control (ATC). In this final project, the payload design uses the GPS Module as a source of information on the position, altitude, and speed of the aircraft, the Raspberry Pi 3 Model B as a minicomputer that processes ADS-C data, the Huawei E8372 modem as a medium for connecting to a 4G LTE cellular network. The module components will be designed according to size so that they can be placed on microlight aircraft and the like.

From the results of the achievement of the design and manufacture of prototypes, it is hoped that they can solve problems that exist in the aviation world, especially in microlight aircraft pilots and air traffic control (ATC) and other useful things. In addition, from the results of testing this device, it is expected to get the results and parameters obtained such as the efficiency of the device and the accuracy of the data obtained during experiments and research.

Keywords : ADS-C, Payload, Microlight Aircraft

1. Pendahuluan

Automatic Dependent Surveillance Contract (ADS-C) adalah sebuah evolusi dari teknologi “*Future Air Navigation System*” atau model RADAR pesawat di masa depan yang bersifat *Contract* atau bergantung pada media pengiriman informasi yang digunakan[1]. Pada dasarnya ADS-C tidak berbeda jauh dengan *Automatic Dependent Surveillance Broadcast* (ADS-B) yaitu pesawat terbang memberikan informasi identitas, posisi, dan ketinggian menggunakan dua perantara yaitu satelit navigasi sebagai sumber referensi posisi dan ketinggian pesawat dan media transmisi yang berfungsi mengirim informasi ke Pemandu Lalu Lintas Udara (PLLU) atau biasa disebut *Air Traffic*

Control (ATC) atau sekitarnya[2]. Namun pada umumnya media transmisi yang ada di ADS-C menggunakan satelit *datalink* dan banyak digunakan di pesawat komersial yang terbang di daerah yang tidak bisa dicakup oleh stasiun penerima ADS-B milik *Air Traffic Control* (ATC) seperti daerah Samudra. ADS-C bersifat diskrit yaitu tidak diwajibkan mengirim informasi secara terus menerus seperti karena biaya media transmisi menggunakan satelit basis *datalink* yang masih relatif mahal.

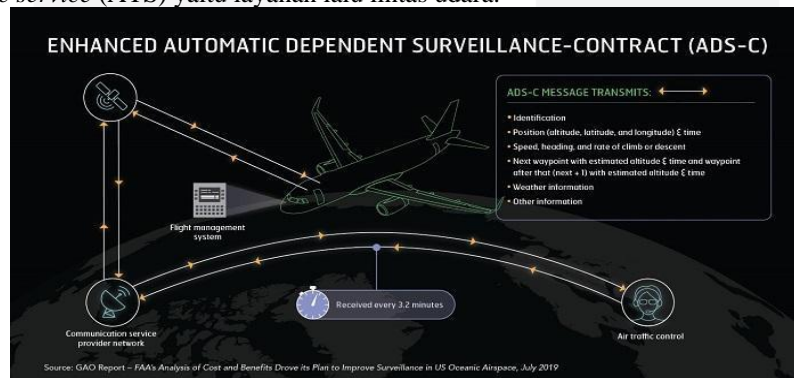
Dunia penerbangan atau *Aviation* adalah aktivitas atau kegiatan yang berkaitan tentang kegiatan di lingkup ruang udara sebuah negara dan kegiatan kedirgantaraan yang mengikuti regulasi dan hukum yang ada di negara tersebut maupun internasional. Dalam penelitian tugas akhir ini penulis lebih berfokus pada dunia penerbangan di lingkup Olahraga Dirgantara (*Aerosport*) dan Terbang Hobby (*Aerohobby*) yang dibawah oleh Federasi Aero Sport Indonesia (FASI)[3]. Hal ini menjadi sebuah alasan penulis memilih topik tersebut karena terdapat sebuah masalah yaitu pergerakan objek Olahraga Dirgantara (*Aerosport*) dan Terbang Hobby (*Aerohobby*) tidak dapat dideteksi oleh ATC dikarenakan objek tersebut tidak terpasang transponder radar pesawat karena harga transponder di pasaran masih relatif mahal dan tidak terjangkau. Oleh karena itu penulis mencoba menyelesaikan permasalahan ini dengan memanfaatkan jaringan seluler 4G LTE yang tersebar di seluruh Indonesia[4].

Pada tugas akhir ini penulis merancang sebuah purwarupa muatan *transponder* yang serupa dengan *Automatic Dependent Surveillance Contract* (ADS-C) dengan memanfaatkan jaringan seluler 4G LTE. Dalam tugas akhir ini perancangan muatan menggunakan *module GPS* sebagai sumber referensi posisi dan ketinggian pesawat *microlight*, Raspberry Pi 3 Model B sebagai *On Board Data Handling* (OBDH) yang berfungsi sebagai pengolahan data informasi posisi, ketinggian, serta identitas pesawat *microlight* yang akan diubah ke bentuk format data yang standar ADS, dan *modem* 4G LTE sebagai media transmisi penyaluran data. Oleh karena itu, purwarupa muatan ini diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan yang ada di dunia penerbangan terutama di Olahraga Kedirgantaraan (*Aerosport*) dan Terbang Hobby (*Aerohobby*) serta dapat dikembangkan lagi.

2. Dasar Teori

2.1 Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B/MODE-S RECEIVER)

ADS-C adalah layanan sistem komunikasi dua arah antara pesawat terbang dengan *Air Traffic Control* (ATC) yang bersifat kontrak yaitu menggunakan layanan operator pihak ketiga diluar sistem pengatur lalu lintas penerbangan. ADS-C bertujuan untuk komunikasi *surveillance* antara pesawat terbang dengan *air traffic control* (ATC) bila sudah diluar cakupan kemampuan muatan *radar surveillance* pada *air traffic control* (ATC) yang bertujuan untuk mengirim data informasi penting dan sejenisnya pada pesawat terbang modern [5]. ADS-C biasanya digunakan di ruang udara kelas A dan kelas E yang dimana sulit dijangkau oleh sistem *radar surveillance* pada *air traffic control* (ATC) seperti daerah lautan dan samudra (*oceanic*), gurun pasir, atau daerah yang tidak memiliki *air traffic service* (ATS) yaitu layanan lalu lintas udara.



Gambar 2.1 Alur komunikasi data ADS-C [6]

Pada umumnya ADS-C menggunakan sistem layanan transmisi satelit bersifat *peer-to-peer* yang tertera pada gambar Gambar 2.1. ADS-C berfungsi untuk mengirim informasi secara otomatis berupa posisi pesawat, ketinggian, kecepatan, navigasi dan data meteorologi yang dapat diterima oleh suatu pesawat terbang dari *Air Traffic Control* (ATC) tertentu. ADS-C juga dapat menjadi fasilitas maskapai pesawat terbang yang berfungsi untuk pengawasan dan pemantauan rute agar dapat dipantau dari jauh. ADS-C bersifat *contract* yaitu menggunakan layanan operator pihak ketiga yang susunan mekanisme diluar dari layanan *Air Traffic Control* (ATC) yang sudah ada dan sebagai layanan penyediaan transmisi data yang dihasilkan oleh pesawat terbang dan kemudian akan masuk ke *data center* pihak ketiga yang akan diteruskan ke *Air Traffic Control* (ATC) serta fasilitas layanan maskapai yang ada untuk keperluan *surveillance* yaitu pemantauan posisi dan kondisi jarak jauh pada pesawat terbang modern[7].

2.2. Format data SBS-1

Format data SBS-1 adalah standar bentuk susunan data yang digunakan dalam pengolahan informasi *Automatic Dependent Surveillance* (ADS) di penerbangan dengan menggunakan format *raw data* yang dikirim ke server pemandu lalu lintas udara (ATC) yang telah diolah dari bahasa mesin (AVR) ke format bahasa yang dapat diterjemah oleh manusia.

Tabel 2.1 Field Data SBS-1[8]

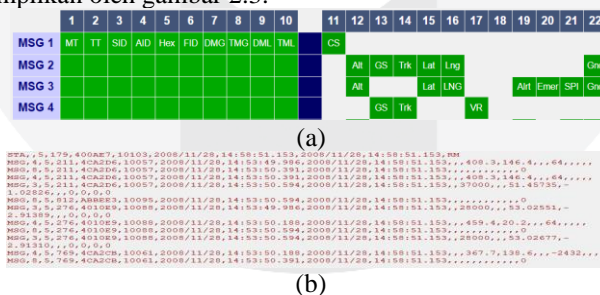
Data Field	ID	Informasi	Keterangan
1	MT	Message Type	<i>Transmission Message</i> , dihasilkan oleh pesawat
2	TT	Transmission Type	Identifikasi dan Kategori ES yang menghasilkan <i>Callsign</i> pesawat
3	SID	Session ID	Nomor rekaman Database Session
4	AID	Aircraft ID	Nomor rekaman Database Pesawat
5	HEX	Hexident	Kode heksadesimal Mode S Pesawat
6	FID	Flight ID	Nomor rekaman Database penerbangan
7	DMG	Date message generated	Tanggal data dikeluarkan
8	TMG	Time message generated	Waktu data dibangkitkan
9	DML	Date message logged	Tanggal data tersimpan
10	TML	Time message logged	Waktu data tersimpan
11	CS	Callsign	<i>Callsign</i> Pesawat
12	ALT	Altitude	Ketinggian dari Mode C terhadap 1013.2 mb (<i>Flight Level</i>)
13	GS	Ground Speed	Kecepatan diatas tanah
14	TRK	Track	Lacak pesawat. Berasal dari kecepatan Timur / Barat dan kecepatan Utara / Selatan
15	LAT	Latitude	Garis Lintang
16	LNG	Longitude	Garis Bujur
17	VR	Vertical Rate	<i>Vertical rate</i> pesawat dengan resolusi 64ft
18	SQ	Squawk	Menunjukkan kode <i>squawk</i> Mode A
19	ALRT	Alert (Squawk Change)	Flag untuk mengidentifikasi kode <i>Squawk</i> telah diubah
20	EMER	Emergency	Flag untuk mengidentifikasi kode darurat telah diaktifkan
21	SPI	SPI (ident)	Flag untuk mengidentifikasi transponder ident telah diaktifkan
22	GND	IsOnGround	Flag untuk mengidentifikasi <i>Ground squat</i> diaktifkan.

Pada format SBS-1 memiliki susunan informasi data yaitu *transmission message* (MSG) yang dimana didalam susunan informasi data tersebut memiliki isi fungsi *field data* masing-masing berupa konten informasi *message* yang dimana akan dikirimkan secara terus menerus dengan mengikuti kondisi pesawat.

Tabel 2.2 Jenis *transmission message* minimum [8]

ID	Deskripsi
MSG.1	Identifikasi berupa <i>callsign</i> pesawat
MSG.2	Posisi pesawat saat di darat yang di <i>trigger</i> oleh sensor ban pesawat.
MSG.3	Posisi pesawat saat di udara
MSG.4	Kecepatan dan arah haluan (track) pesawat saat di udara

Pada tabel 2.2 menjelaskan tentang jenis dan fungsi dari *transmission message* yang pada umumnya lebih banyak digunakan untuk identifikasi pesawat terbang saat di udara dan di darat. Bentuk *transmission message* tersebut memiliki susunan informasi *field data* yang sudah ditetapkan dan tidak bisa diubah karena sudah memiliki standar tersendiri yang ditampilkan oleh gambar 2.3.

**Gambar 2.2 (a) Bentuk susunan format MSG1,MSG2,MSG3,MSG4 pada SBS-1 (b) Format data SBS-1 yang sudah diolah [8]**

Bentuk susunan *field data* yang kemudian disusun menjadi *transmission message* memiliki isi *field* tersendiri secara masing-masing karena untuk meminimalisir proses terjadinya tabrakan informasi pada saat penerjemahan oleh sistem *Air Traffic Control* (ATC). SBS-1 memiliki panjang *field data* sepanjang 22 *field data* yang dibatasi oleh tanda koma (,) sebagai pembatas antar *field data*. Namun, data SBS-1 memiliki susunan data tersendiri serta kondisi waktu pengtransmisian data tersendiri. Hal ini bertujuan untuk mempermudah pengolahan data untuk meminimalisir penumpukan data pada proses transmisi bila terjadi penumpukan *traffic* pesawat yang ramai dan mengakibatkan penumpukan sinyal yang mengakibatkan mengurangi kemampuan perangkat dalam mengolah data. Oleh karena itu proses transmisi data SBS-1 dibedakan dengan jenis MSG-ID yang ditransmisikan.

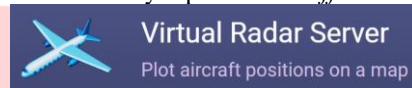
Tabel 2.3 Standar format *airborne* susunan *field data* SBS-1

ID	ID Susunan <i>Field Data</i>
MSG1	MT,TT,SID,AID,HEX,FID,DMG,TMG,DML,TML,CS,,,,,,,,,,,,,
MSG3	MT,TT,SID,AID,HEX,FID,DMG,TMG,DML,TML,,ALT,,,LAT,LNG,,,ALRT,,SPI,GND
MSG4	MT,TT,SID,AID,HEX,FID,DMG,TMG,DML,TML,,,GS,TRK,,,VR,,,,,

Tabel 2.3 menjelaskan susunan *field data* SBS-1 yang dibutuhkan untuk membuat sebuah minimum data yang dibutuhkan untuk membuat sebuah format *airborne* yang dijelaskan secara detail pada Tabel 2.1. Format susunan tersebut akan dilakukan transmisi karena memiliki unsur komponen yang dapat diolah dan *plotting* pada bidang peta atau tampilan layar/*display*.

2.3 Virtual Radar Server (VRS)

Virtual Radar Server adalah platform aplikasi pengolahan data *Automatic Dependent Surveillance* (ADS) pada dunia penerbangan yang berfungsi mengubah *transmission message* salah satunya data SBS-1 kedalam bentuk grafis yang mudah ditampilkan kedalam layar pada *Air Traffic Control* (ATC).

**Gambar 2.32** *Virtual Radar Server*

Virtual radar server bertujuan untuk menampilkan posisi pesawat yang sedang ada di udara dengan syarat dapat menerima data SBS-1 dengan sempurna dan sesuai format *field data* SBS-1. Oleh karena itu bila data yang diterima tidak sesuai dengan format *field data* SBS-1 maka data tersebut akan dianggap data rusak (*bad message*). *Virtual radar server* dapat diletakan di *clouds server* yang bertujuan untuk kemudahan dalam fleksibilitas pengaksesan server saat diluar dari jaringan *Local Aera Network* (LAN). Proses pemasukan data SBS-1 pada *virtual radar server* menggunakan socket TCP/IP atau UDP/IP yang kemudian akan diterima data tersebut di dalam satu jaringan. *Virtual radar server* memiliki beberapa fitur yang unggul serta mudah dalam pengaturan. Hal ini dikarenakan *virtual radar server* hampir menyerupai seperti *machine learning* yang berfokus mengolah data SBS-1 dan dapat ditampilkan ke tampilan layar/*display*. Oleh karena itu *virtual radar server* dapat diletakan di *cloud storage* agar mudah dalam mengelolanya.

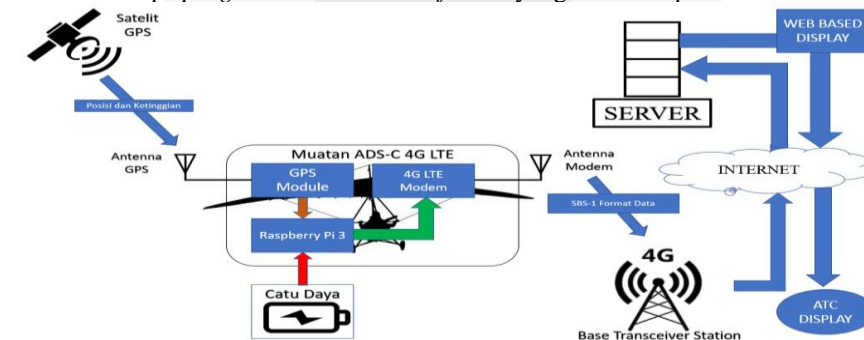
2.4 Pesawat Microlight

Pesawat Microlight adalah jenis pesawat yang memiliki kelas berat dibawah 475kg yang hanya dapat mengangkut maksimal 2 orang saat mengudara[9]. Pesawat microlight hanya diperbolehkan terbang dengan *Visual Flight Rules* (VFR) yaitu aturan terbang yang hanya diperbolehkan dalam kondisi cuaca di wilayah udara dapat terlihat jelas secara kontak mata dengan kecepatan dibawah 100 knots atau 185 km/jam. Pesawat ini termasuk di kategori *Aerosport* dan *Aerohobby* karena kemampuan pesawat tersebut dibatasi oleh wilayah yang sesuai diatur oleh peraturan udara di negara masing-masing.

**Gambar 2.4** Pesawat *microlight* jenis sayap tetap (*Fix-Wing*)

3 Desain Sistem Muatan Purwarupa

Pada proses perancangan dan realisasi desain sistem ini yaitu perancangan dari sisi muatan ADS-C 4G LTE dengan menggunakan beberapa *program console* dan *software* yang tersedia *opensource* di internet.

**Gambar 3.1** Diagram blok perancangan muatan ADS-C 4G LTE

Pada gambar 3.1 menjelaskan tentang blok diagram perancangan muatan ADS-C 4G LTE yang dilakukan pada tahap proses realisasi muatan dengan harapan mendapatkan hasil pengujian yang dapat dianalisis. Pengujian yang akan dianalisis yaitu kestabilan muatan yang dapat dan data yang dikirim ke *server* yang dapat dianalisis kemungkinan data yang rusak saat proses pengiriman data.

Pada perancangan muatan ADS-C 4G LTE terdapat tiga blok komponen modul yaitu modul GPS sebagai muatan yang menerima dan mengolah beberapa informasi berupa informasi koordinat posisi (*longitude* dan *latitude*), ketinggian (*Altitude*), arah haluan (*track*), waktu (*timestamp*) dan kecepatan (*Ground Speed*). Dari data tersebut akan digabungkan dan diolah menjadi field data SBS-1 yang sesuai dengan susunan *Airborne Transmission Message* yaitu berupa bentuk *Transmission Message* MSG1, MSG3, dan MSG4. Kemudian data diteruskan ke server menggunakan *socket UDP stream* melalui jaringan seluler 4G LTE yang akan kemudian diterjemah oleh server. Kemudian bentuk data SBS-1 yang diterima oleh server akan otomatis diterjemah oleh *Virtual Radar Server* yang kemudian akan mengubah format data SBS-1 yang dikirim ke bentuk tampilan layar (*display*) melalui browser.

3.1 Spesifikasi Muatan Purwarupa

Muatan purwarupa menggunakan spesifikasi komponen yang digunakan. Berikut merupakan spesifikasi :

1. Raspberry Pi 3 Model B Plus

Tabel 3.1 Spesifikasi Raspberry Pi 3

SPESIFIKASI	KETERANGAN
SoC	Broadcom BCM2837
CPU	Quad Core 1.2 GHz
RAM	1 GB
Penyimpanan	microSD 8GB
Network	10/100 Ethernet, Wireless 2.4 GHz 802.11n
Ports	USB 2.0 Ethernet Camera Serial Interface Display Serial Interface 3.5mm audio-video Jack HDMI

2. Modem USB

Tabel 3.2 Spesifikasi USB Modem

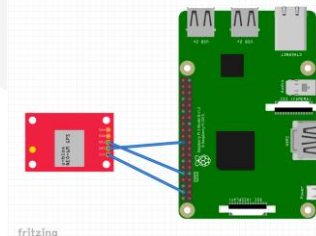
SPESIFIKASI	KETERANGAN
Koneksi	LTE CAT4 / DC-HSPA+ / HSPA+ / HSPA / UMTS / EDGE / GPRS / GSM
Kecepatan	FDD LTE Cat4: 150 / 50 Mbps @20 M BW HSPA+ 42 / 5.76, 21 / 5.76 Mbps HSPA: 14 / 5.76, 7.2 / 5.76 Mbps
Ports	USB 2.0 2 x TS9 External Antena
Card Input	Simcard Standard microSD
Daya Transmisi	LTE: +23 dBm (Power Class 3) WCDMA/HSPA+/DC-HSPA+: +24 dBm (Power Class 3)

Pada perancangan sistem yang dibuat membutuhkan beberapa perangkat keras (*hardware*) untuk mendukung kinerja sistem. Berikut tabel 3.3 berisi komponen yang digunakan pada penelitian ini :

Tabel 3.3 Perangkat keras (*hardware*) Sistem

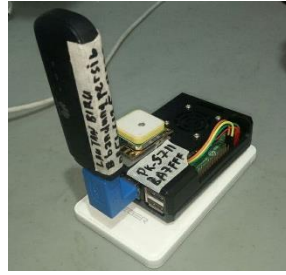
Komponen	Jumlah	Fungsi
Raspberry Pi	1	Sebagai kontroler pada sistem
GPS NEO-6M	1	Sebagai sensor posisi dan kecepatan
Power Supply	1	Sebagai sumber daya sistem
HUAWEI E8372 USB Modem 4G LTE	1	Sebagai penghubung jaringan sistem

Pada tahap perancangan purwarupa tahap awal yang dilakukan yaitu memasang *module* GPS melalui pin GPIO yang sudah disediakan oleh Raspberry Pi 3 akan disambungkan ke beberapa pin yaitu pin GPIO15 (UART0_RXD), Vcc, dan GND yang digambarkan pada gambar 3.5 dibawah.



Gambar 3.2 Skema pemasangan *module* GPS pada muatan purwarupa

Tahap selanjutnya yaitu pemasangan modul USB Modem 4G LTE yang dihubungkan ke port USB yang sudah disediakan oleh Raspberry Pi. Modem Huawei E8372 4G LTE memiliki fitur *auto-config DHCP* yang dimana ketika *modem* sudah terhubung muatan yang mendukung IPv4 akan otomatis tersambung dengan jaringan seluler 4G LTE.



Gambar 3.3 Hasil akhir perancangan perangkat keras (*hardware*) purwarupa

Tahap perancangan perangkat lunak purwarupa terdapat beberapa algoritma program dan aplikasi bertujuan untuk mendukung kinerja dari sistem purwarupa tersebut. Perangkat lunak yang dibutuhkan dijelaskan pada tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Perangkat lunak (*software*) pada sistem.

Nama Perangkat Lunak	Fungsi
Pyhon	Membaca dan menjalankan <i>file coding</i> program yang dibuat.
GPSD	<i>Library</i> untuk program GPS NEO-6M.
<i>Virtual Radar Server</i>	Untuk menerima dan mengolah data dari muatan purwarupa ke bentuk GUI.
RaspbianOS	Sistem operasi berbasis linux untuk menjalankan program di raspberry pi.
Crontab	Program untuk menyalakan ulang bila program tidak berjalan dengan baik.

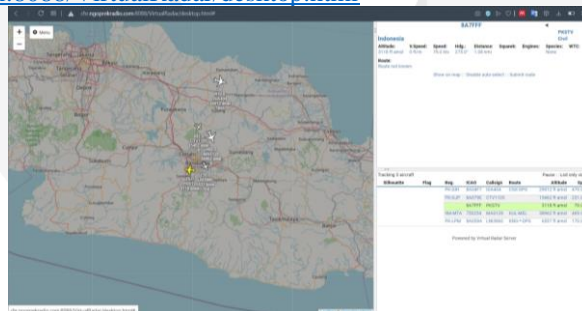
4. Pengujian Muatan Purwarupa

Proses pemasangan muatan purwarupa ini dipasang diatas *dashboard* pesawat *microlight* tanpa menggunakan antena luar (*external*). Pemasangan muatan purwarupa di *dashboard* pesawat karena dekat dengan jendela (*window*) pesawat *microlight* karena jendela tersebut berbahan akrilik yang memungkinkan dapat menangkap sinyal GPS dengan baik serta sinyal BTS yang sempurna.



Gambar 4.1 (a) Posisi peletakan muatan purwarupa. (b) Jenis pesawat *microlight* yang digunakan.

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem dari muatan sudah bekerja dan mengirim *stream* data SBS-1 dengan cara mengakses alamat *domain* pada *web interface* dari *virtual radar server* yaitu <https://chr.ngoprekradio.com:8088/VirtualRadar/desktop.html>



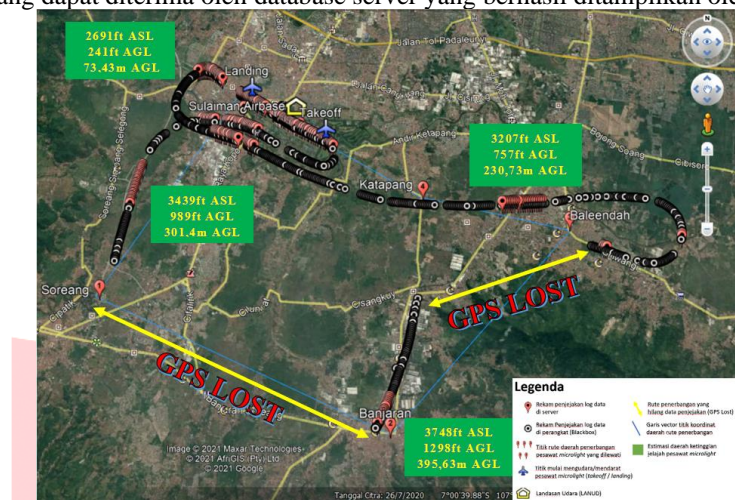
Gambar 4.2 Pemeriksaan muatan purwarupa pada *web interface*

Pada gambar 4.2 menjelaskan bahwa alat dapat bekerja dengan baik yang ditunjukkan dengan *icon* pesawat berwarna kuning dan *label strip* warna hijau yang menandakan bahwa server telah menerima kiriman data dari muatan purwarupa.

4.1 Hasil log data dari pengujian muatan purwarupa

Proses penyimpanan *log data* SBS-1 pada muatan purwarupa didapatkan dengan cara merekam pergerakan posisi pesawat *microlight* yang kemudian disimpan dalam *log file* berbentuk (.txt) pada penyimpanan di raspberry pi dan Proses penyimpanan *log data* SBS-1 pada server didapatkan dengan cara merekam *stream data* SBS-1 yang masuk ke *virtual radar server* yang kemudian disimpan dalam *log file* berbentuk (.txt) pada penyimpanan di server. Hasil analisa yang dapat didapatkan pada tugas akhir ini dalam ujicoba muatan purwarupa ADS-C jaringan 4G LTE yaitu tidak semua daerah dapat dijangkau oleh jaringan seluler 4G LTE. Pada proses perbandingan *log file*

terdapat beberapa daerah yang tidak bisa terekam penjejakan pesawat *microlight* saat di udara serta terdapat beberapa titik saja yang dapat diterima oleh database server yang berhasil ditampilkan oleh *virtual radar server*.



Gambar 4.3 Hasil perbandingan log data di muatan purwarupa dan server

Pada gambar 4.3 menjelaskan tentang hasil dari rekaman *log file* SBS-1 di muatan purwarupa. Hasil pada *log file* SBS-1 di muatan purwarupa terdapat beberapa daerah yang tidak terekam pergerakan pesawat *microlight* pada titik Soreang waypoint dan Banjaran Waypoint. Kemudian dari titik Banjaran waypoint terdapat sebagian daerah yang tidak terekam pergerakan pesawat *microlight*. Hal ini dikarenakan berbagai banyak faktor yang akan dijelaskan pada bagian analisa.

4.2 Hasil Tingkat Keberhasilan serta Kestabilan dan Ketersediaan Data

Pada proses penjejakan *log data* pada purwarupa didapatkan sampel data yang terdapat di SBS-1 sebesar 1471 data. Pada log server didapatkan data masuk sebesar 745 data. banyak data yang didapatkan dapat dimasukkan ke persamaan (3.1) yaitu sebagai berikut :

$$\text{Persentase keberhasilan} = \frac{745}{1471} \times 100\% = 50,645\%$$

Hasil persentase keberhasilan muatan pada proses pengambilan data masih kurang memuaskan dan diluar ekspektasi. Hal ini dikarenakan banyak faktor yang akan dibahas di bagian analisa.

Proses pengambilan data pada pengujian purwarupa muatan didapatkan durasi terbang pesawat *microlight* selama 28 menit 48 detik. Untuk mempermudah proses analisa kestabilan muatan purwarupa serta ketersediaan data (*availability*) pada sisi server diperlukan pengambilan *sampling data* dengan keakurasian waktu per menit (durasi 1 menit). Hal ini dikarenakan data penjejakan *log data* yang didapatkan bisa mencapai ribuan bahkan puluhan ribu data. Oleh karena itu proses tersebut diperlukan penyerdehanaan data agar mudah saat proses analisa data. Proses pengambilan *sampling data* dilakukan secara *manual* dengan cara menggabungkan kedua *log data* yaitu *log data* dari muatan purwarupa serta *log data* yang tersedia dari server dengan cara menggabungkan kedua hasil penjejakan tersebut ke bentuk visualisasi berupa *google earth* yang akan dijelaskan di bagian hasil analisa.

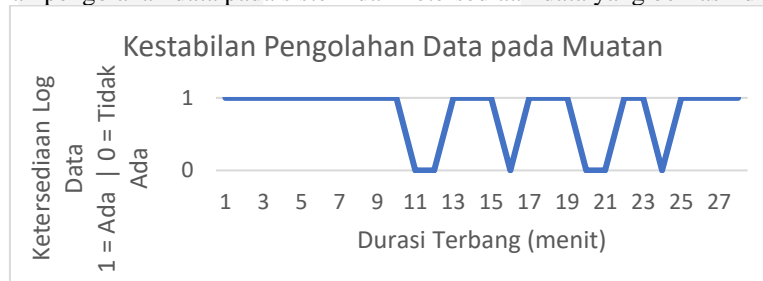
Tabel 4.1 Hasil penyerdehanaan ketersediaan log data penjejakan

Durasi Terbang (Menit)	Ketersediaan Log Data Penjejakan (<i>availability</i>)		Keterangan
	Muatan	Server	
1	1	1	Pesawat <i>microlight</i> mengudara (<i>takeoff</i>) Sistem muatan dan server berjalan normal
2	1	1	Pesawat <i>microlight</i> menuju Soreang area Sistem muatan dan server berjalan normal
3	1	1	Sistem muatan dan server berjalan normal
4	1	1	Sistem muatan dan server berjalan normal
5	1	1	Sistem muatan dan server berjalan normal
6	1	0	Data tidak sampai ke server karena koneksi Jaringan
7	1	1	Sistem muatan dan server berjalan normal
8	1	0	Data tidak sampai ke server karena koneksi Jaringan
9	1	1	Pesawat <i>microlight</i> tiba di Soreang area Sistem muatan dan server berjalan normal
10	1	0	Data tidak sampai ke server karena koneksi Jaringan
11	0	0	Muatan purwarupa mengalami <i>GPS Lost</i>
12	0	0	Muatan purwarupa mengalami <i>GPS Lost</i>

13	1	1	Pesawat <i>microlight</i> tiba di Banjaran area Sistem muatan dan server berjalan normal
14	1	1	Pesawat <i>microlight</i> menuju Baleendah area Sistem muatan dan server berjalan normal
15	1	0	Data tidak sampai ke server karena koneksi Jaringan
16	0	0	Muatan purwarupa mengalami <i>GPS Lost</i>
17	1	0	Data tidak sampai ke server karena koneksi Jaringan
18	1	0	Data tidak sampai ke server karena koneksi Jaringan
19	1	1	Sistem muatan dan server berjalan normal
20	0	0	Muatan purwarupa mengalami <i>GPS Lost</i>
21	0	0	Muatan purwarupa mengalami <i>GPS Lost</i>
22	1	1	Pesawat <i>microlight</i> tiba di Baleendah area Sistem muatan dan server berjalan normal
23	1	1	Pesawat <i>microlight</i> menuju Katapang area Sistem muatan dan server berjalan normal
24	0	0	Muatan purwarupa mengalami <i>GPS Lost</i>
25	1	1	Pesawat <i>microlight</i> tiba Katapang area Sistem muatan dan server berjalan normal
26	1	1	Pesawat <i>microlight</i> menuju <i>downwind</i> untuk kembali Sistem muatan dan server berjalan normal
27	1	1	Sistem muatan dan server berjalan normal
28	1	1	Pesawat <i>microlight</i> mendarat (<i>landing</i>) Sistem muatan dan server berjalan normal

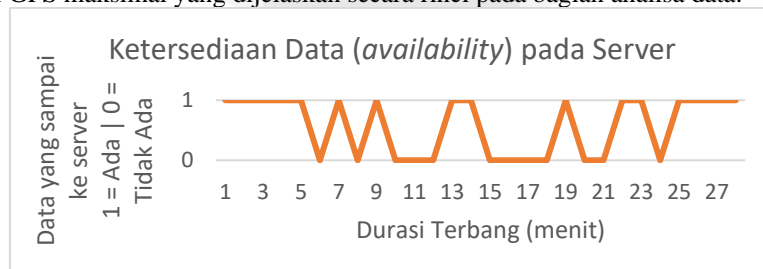
Pada tabel 4.1 menjelaskan beberapa parameter ketersediaan *log data* penjejakan pada purwarupa yang dimana menjelaskan beberapa parameter yaitu durasi terbang dalam menit, ketersediaan *log data* penjejakan dari sisi muatan serta server, dan keterangan. Pada bagian ketersediaan *log data* dari sisi muatan serta server menjelaskan tentang adanya data penjejakan atau tidak yang dibuat oleh sistem muatan purwarupa serta yang diterima oleh server yang sudah. Bila data berhasil diidentifikasi maka akan diberi nilai 1 yang mengdefinisikan data tersedia, sedangkan bila data tidak berhasil diidentifikasi maka akan diberi nilai 0 yang mendefinisikan data tidak ada/tersedia. Pada bagian keterangan menjelaskan dua kondisi yang dimana kondisi yang diberi huruf cetak tebal yaitu kondisi posisi pesawat *microlight*, dan huruf cetak biasa yaitu kondisi sistem.

Hasil dari tabel 4.1 dapat dikonversikan ke bentuk grafik yang dapat mempermudah tampilan hasil yang dapat mempermudah dalam menyimpulkan analisa. Hasil dari tabel 4.2 dapat menyimpulkan hasil dua tabel yang menjelaskan kestabilan pengolahan data pada sistem dan ketersediaan data yang berhasil diterima oleh server.



Gambar 4.4 Grafik kestabilan pada muatan

Gambar 4.4 menjelaskan grafik kestabilan pengolahan data yang diperoleh pada muatan purwarupa. Grafik tersebut juga menjelaskan di durasi terbang berapa data tersebut gagal/tidak berhasil diolah. Hal ini terjadi karena terjadi kegagalan modul sensor pada sistem dalam mengambil data GPS. Hal tersebut terjadi karena tidak mendapatkan sinyal GPS maksimal yang dijelaskan secara rinci pada bagian analisa data.



Gambar 4.5 Grafik ketersediaan data di server.

Availability adalah parameter kualitas layanan server yang menunjukkan indikator level kualitas serta ketepatan waktu. Gambar 4.5 menjelaskan tentang ketersediaan data (*availability*) yang berhasil diterima oleh server. Hasil dari grafik tersebut menjelaskan bahwa proses pengiriman data menuju server terdapat bagian yang

hilang yang dapat menurunkan kualitas *availability* pada server. Hal tersebut terjadi karena muatan purwarupa tidak mendapatkan sinyal BTS seluler yang maksimal yang lebih dijelaskan pada bagian analisa data.

4.3 Analisa

Hasil analisa yang didapatkan pada pengujian muatan purwarupa ADS-C menggunakan jaringan seluler 4G LTE yaitu masih memungkinkan penjejak pesawat *microlight* menggunakan jaringan seluler 4G LTE. Hal ini karena pola radiasi sinyal BTS dapat memungkinkan sinyal BTS menerima transmisi dari *modem* pada muatan bila posisi objek berada di ketinggian tertentu dengan jarak tertentu karena masih terdapat *main beam* terpancar keatas namun sinyal yang didapatkan tidak maksimal. Oleh karena itu diperlukan penggunaan antena luar (*external*) yang aerodinamis bila diletakan di pesawat.

Selain itu terdapat kesalahan teknis terhadap GPS data yang mengakibatkan *false coordinat* karena beberapa faktor yaitu kesalahan karena sistem/program, interferensi sinyal harmonik yang terjadi di frekuensi GPS, tidak ditambahkan *quality check GPS data*, dan tidak menggunakan antena luar (*external*). Oleh karena itu perlu adanya pengembangan lebih lanjut yang menggunakan alat yang memiliki keakuratan data yang sangat tinggi yang bertujuan untuk memperoleh kualitas data yang sempurna.

5 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil perancangan serta pengujian purwarupa muatan ADS-C menggunakan jaringan seluler 4G LTE ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Purwarupa muatan ADS-C menggunakan jaringan seluler 4G LTE berhasil direalisasikan dan bekerja sesuai dengan fungsi.
2. Hasil dari persentase keberhasilan purwarupa muatan ADS-C menggunakan jaringan seluler 4G LTE yang didapatkan sebesar 50,645%. Hal ini karena banyak faktor yang menurunkan kualitas keakuratan data.
3. Data log dari kedua sisi yang didapatkan terdapat koordinat GPS yang rusak yang kemudian membuat *false coordinat* yang mengakibatkan menurunnya keakuratan data pada koordinat GPS dan ditampilkan data GPS yang rusak.
4. *false coordinat* yang didapatkan pada tugas akhir ini karena beberapa faktor yaitu kestabilan muatan purwarupa pada saat proses pengolahan data serta kurangnya program pemeriksaan kualitas data penjejak yang dapat diperiksa pada *library* program GPSD.
5. Muatan purwarupa sudah berjalan dengan baik namun masih terdapat bagian yang belum sempurna karena keterbatasan kemampuan alat seperti tidak adanya sensor pembaca SNR dan RSSI pada sinyal seluler yang berfungsi untuk analisa data lebih lanjut berdasarkan besar penerimaan sinyal 4G LTE di wilayah penerbangan pesawat *microlight*.

Pada tugas akhir ini sistem yang dibuat masih memiliki banyak kekurangan karena banyak faktor yang mempengaruhi kinerja dari muatan purwarupa. Oleh karena itu terdapat beberapa pertimbangan yang dapat ditingkatkan yaitu :

1. Mengembangkan program *coding* kembali terutama menambahkan *coding* kualitas sinyal pada GPS yang dapat mempengaruhi keakuratan titik koordinat agar koordinat yang dikirimkan ke server bukan koordinat yang rusak.
2. Menggunakan antena *external* tersendiri yang memiliki karakteristik gain yang tinggi dan mengarah kebawah pesawat *microlight* untuk antena BTS serta mengarah keatas langit untuk antena GPS.
3. Menggunakan modul 4G LTE *development board* seperti SIM7000 karena dapat mengukur SNR dan RSSI pada sinyal BTS 4G LTE yang didapatkan pada muatan purwarupa secara *serial* yang dapat dimasukkan ke log data.
4. Perlunya ujicoba yang dilakukan oleh lebih dari dua pesawat *microlight* agar dapat mensimulasikan kelayakan pada muatan purwarupa.
5. Perlu adanya peninjauan lebih lanjut tentang pengukuran *Quality of Service* (QoS) agar dapat dianalisa seberapa besar dan efektif muatan purwarupa tersebut dapat mengirim data ke server.
6. Perlunya ada *Drive Test* yang berfungsi untuk mengetahui persebaran BTS seluler di sekitar jalur penerbangan pesawat *microlight*.
7. Perlu adanya pengembangan di bagian *hand over* pada muatan purwarupa bila *modem* tidak dapat sinyal dari BTS seluler 4G LTE

REFERENSI

- [1] "Automatic Dependent Surveillance - Contract (ADS-C) - SKYbrary Aviation Safety," 2019. [https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_-_Contract_\(ADS-C\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_-_Contract_(ADS-C)) (accessed Oct. 31, 2019).
- [2] "ADS-C and CPDLC Works." http://code7700.com/images/cpdlc_fans_1.jpg (accessed Nov. 07, 2019).
- [3] "FASI," *Dinas Potensi Dirgantara*. <http://e-dirgantara.com/federasi-aero-sport-indonesia-fasi/> (accessed Nov. 26, 2019).
- [4] Yunita, "Kementerian Komunikasi dan Informatika." https://kominfo.go.id/content/detail/8601/menyelimuti-indonesia-dengan-sinyal-4g/0/sorotan_media

- (accessed Jun. 08, 2021).
- [5] “What’s the big deal about the FAA’s commitment to ADS-C technology? - Blog - Inmarsat,” *Joseph Teixeira, VP Aviation Safety and Cybersecurity, Inmarsat Aviation*, 2019. <https://www.inmarsat.com/blog/whats-the-big-deal-about-the-faas-commitment-to-use-ads-c/> (accessed Nov. 06, 2019).
 - [6] “FAA-blog.jpg-700px.jpg (JPEG Image, 700 × 365 pixels),” *GAO Report - FAA’s Analysis of Cost and Benefits*, 2019. <https://www.inmarsat.com/wp-content/uploads/2019/07/FAA-blog.jpg-700px.jpg> (accessed Nov. 06, 2019).
 - [7] S. De Haan, L. J. Bailey, and J. E. Können, “Quality assessment of Automatic Dependent Surveillance Contract (ADS-C) wind and temperature observation from commercial aircraft,” *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 6, no. 2, pp. 199–206, 2013, doi: 10.5194/amt-6-199-2013.
 - [8] “SBS-1 BaseStation Tutorial 4.2.” http://woodair.net/SBS/Article/Barebones42_Socket_Data.htm (accessed Nov. 06, 2019).
 - [9] “microlight.” <https://www.bmaa.org/about-microlighting/exactly-what-is-a-microlight-> (accessed Nov. 07, 2019).

