

Potensi Dan Tantangan Implementasi Fly-By-Wireless Pada Pesawat Komersil

Ernando R Dalimunthe^{1*}, Irma H A Harahap², Y Astuti³

¹Program Studi Magister Teknik Elektro Telkom University

²Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada,

³Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto

*Email korespondensi : nandodalimunthe@gmail.com

Received Feb 12, 2022; Accepted Feb 22, 2022; Published Mar 8, 2022

Abstrak. Recently, sophisticated aircraft such as commercial aircraft have more various components than before. This fact causes an impact in increasing wiring complexity and resulting in more weight to the airplane. To replace the cables, wireless mode is applied, which is called wireless avionic intra-communications (WAIC). In this article, several wireless communication protocols are recommended to be used in some application sensors on the aircraft. The sensor application selection on the aircraft is based on the type of communication data required from each sensor and based on the location of the sensor. The recommended protocol for each application is concluded based on the characteristics of the communication protocol such as signal rate and nominal distance.

Kata kunci: *Fly-by-wires, WAIC, commercial aircraft*

1. Pendahuluan

Mulanya, perkembangan pesawat berawal dari benda yang dapat diterbangkan semata sebagai wahana atraksi dengan pengendalian secara manual dan kawat-kawat baja yang terhubung dengan kemudi pesawat. Namun, kebutuhan pesawat terbang sebagai moda transportasi membuat perkembangan teknologi pesawat terus ditekuni. Hal ini menyebabkan pada adanya pesawat angkut penumpang dengan jumlah banyak. Sejak saat itu faktor keselamatan mulai diperhitungkan. Selain konstruksi pesawat, alat-alat seperti navigasi sebagai penunjuk arah bagi pesawat dan sensor memiliki peran penting. Dalam hal ini alat – alat tersebut berperan dalam memantau kondisi pesawat yang tidak dapat dijangkau oleh kemampuan pilot. Peningkatan kebutuhan tersebut menyebabkan pesawat bukanlah hal sederhana namun berubah menjadi benda kompleks yang terdiri dari berbagai macam sensor dan alat navigasi. Sensor dan alat navigasi tersebut tersebut dihubungkan dengan kabel yang membentang pada badan pesawat yang kemudian terhubung dengan komputer pengolah data pada bagian depan pesawat. Dewasa ini, pesawat yang canggih memiliki komponen yang lebih banyak sehingga menambah kompleksitas pengkabelan serta berat yang ditimbulkannya. Sebagai contoh pesawat Boeing 747 yang diperkirakan memiliki panjang kabel instalasi sekitar 228 km dengan berat sekitar 1587 kg[1]. Berat tersebut belum termasuk dengan pengait kabel instalasi terhadap badan pesawat. Hal ini tentu berdampak pada performa pesawat sehingga membutuhkan gaya dorong yang lebih besar[6].

Beberapa penggunaan teknologi nirkabel telah banyak digunakan dalam otomasi industri guna memantau bahkan mengendalikan perangkat. Solusi ini juga diperkirakan dapat membantu menyelesaikan kompleksitas dan berat kabel. Sejumlah penelitian yang ada menunjukkan manfaat dari penerapan teknologi nirkabel pada dunia penerbangan, meskipun dunia penerbangan merupakan bidang penelitian yang berdiri sendiri dan menantang jika ditinjau dari faktor keselamatan[2]. Langkah pertama yang dapat ditempuh untuk menuju sistem kontrol *fly-by-wireless* adalah pengenalan *wireless sensor network* atau jaringan sensor nirkabel (WSN). Teknologi WSN telah ditemukan di berbagai aplikasi, baik untuk sistem terdistribusi yang kritis terhadap keselamatan maupun yang tidak kritis. Beberapa manfaat potensial penggunaan WSN untuk sistem pesawat antara lain pengurangan berat badan, kemudahan perawatan dan peningkatan kemampuan pemantauan [1]. Teknologi ini terdiri dari kelompok sensor-sensor cerdas yang dirancang untuk memantau parameter fisik seperti suhu, getaran, tekanan dan lainnya. Pada tiap titik sensor dibekali sumber listrik, prosesor pengolahan data, dan transmisi data nirkabel[2]. Konfigurasi WSN memiliki kelebihan seperti toleransi RF dan perawatannya[1]. Namun, pada aplikasi yang kritis, teknologi nirkabel ini tidaklah dapat secara menyeluruh diterapkan karena persyaratan keandalan yang tinggi.

Wireless avionic intracommunications (WAIC) merupakan teknologi nirkabel yang banyak ditemui pada perancangan *fly by wireless*. Teknologi ini dibatasi pada aplikasi yang berhubungan dengan keamanan, keandalan, dan operasional pesawat seperti pemantauan, penginderaan, dan pengendalian [15]. Teknologi WAIC mendukung kinerja dari WSN yang hanya diaplikasikan untuk pemantauan dengan harapan mendukung layanan yang sangat luas seperti penerapan kritis terhadap waktu dan terhadap data informasi. Dari penjelasan sebelumnya, WAIC didesain untuk menghubungkan sejumlah sensor dengan sistem untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi pesawat untuk awak pesawat. Dalam hal ini, WAIC tidak menyediakan layanan hiburan dalam pesawat, terlebih komunikasi pesawat dengan petugas darat, pesawat ke pesawat, dan pesawat ke satelit. Implementasi prototipe penginderaan nirkabel telah dikenalkan oleh perusahaan honeywell dan bombardier untuk beberapa aplikasi dalam penerbangan[1]. Namun, implementasi ini berstatus sebagai cadangan dari sistem yang ada mengingat faktor toleransi kesalahan dalam pembacaan hasil.

Penerapan *fly by wireless* pada pesawat merupakan keuntungan tersendiri bagi pesawat dalam mengurangi beban dari pesawat dari segi pengkabelan, namun menjadi tantangan bagi peneliti jika diamati dari sisi kebutuhan sensor nirkabel dalam teknologi nirkabel itu sendiri. Pada artikel ini, dirancang kebutuhan sebagian sistem penginderaan nirkabel pada pesawat yakni dengan menganalisis teknologi nirkabel yang tepat berdasarkan transmisi laju data dan jenis data sensor. Lebih lanjut, artikel ini membatasi pembahasan dengan mengabaikan sisi gangguan dan modulasi protokol rekomendasi, serta gambaran pesawat dan sistem avionik konvensional. Selain itu, pada artikel ini juga dijabarkan mengenai tantangan penerapan WAIC di pesawat dilihat dari beberapa faktor. Artikel ini bertujuan memberikan gambaran mengenai potensi penerapan jaringan sensor nirkabel pada pesawat dengan ilustrasi desain penerapannya.

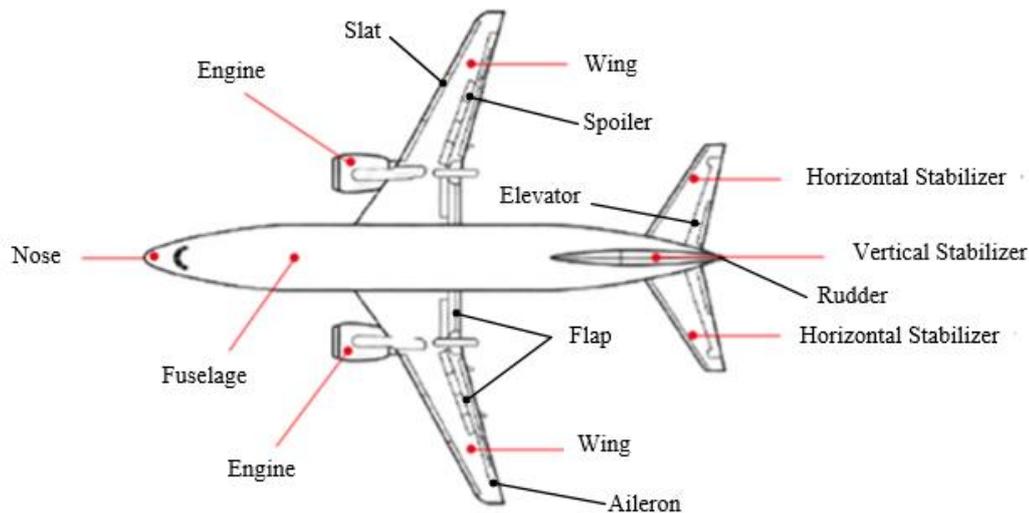
2. Gambaran Umum sistem avionik pesawat

Informasi mengenai gambaran umum pesawat sipil yang akan dimodelkan dan komponen umum dari perangkat avionik pada pesawat dijelaskan pada bagian ini.

2.1. Gambaran umum pesawat terbang komersial

Pesawat terbang merupakan sebuah kesatuan dari beberapa sistem setidaknya ada 3 bagian sistem utama dalam pesawat[5], yaitu kerangka (*airframe*), pendorong (propulsi), dan sistem pendukung lainnya seperti avionik. Secara umum, bagian pesawat dapat dibagi menjadi beberapa bagian seperti pada gambar 1. Pesawat komersial yang dimodelkan umumnya memiliki panjang sekitar 30 m sampai dengan 40 m. Dengan demikian, pesawat yang memiliki panjang tersebut diperkirakan dapat mengangkut penumpang

sekitar 150 sampai 200 penumpang. Pesawat komersial umumnya terdiri dari hidung pesawat atau *nose* yang terletak di bagian paling depan dari badan pesawat (*fuselage*). Badan pesawat sendiri terdiri dari kabin penumpang, kabin awak pesawat, dan kargo yang berfungsi menyimpan barang-barang dari penumpang atau awak pesawat itu sendiri. Badan pesawat juga menjadi tempat terpasangnya sayap pesawat, di mana sayap pesawat merupakan komponen untuk gaya angkat pesawat.



Gambar 1. Bagian- bagian pesawat sipil secara umum [2] [5]

Pada sayap pesawat terdiri dari beberapa perangkat kendali terbang seperti *aileron* untuk melakukan gerakan *rolling*, *flap*, *slat* dan *spoiler*. Pada sayap pesawat juga terpasang mesin pesawat (*engine*) yang berfungsi menghasilkan gaya dorong. Untuk beberapa jenis pesawat, mesin diletakkan pada bagian belakang badan pesawat, seperti pada pesawat tipe Bombardier CRJ-100. Pada ekor pesawat terdapat *vertical* dan *horizontal stabilizer*, di mana pada *vertical stabilizer* terdapat *rudder* sedangkan pada *horizontal stabilizer* terdapat *elevator*. Keduanya merupakan inti dari sistem kendali terbang pada pesawat yaitu *yawing* dan *pitching*. Keseluruhan bagian pesawat tersebut menjadi penting sebagai bagian dari keseluruhan sistem penunjang kinerja pesawat. Pada penerapan konsep WAIC di pesawat, sensor – sensor nirkabel dan *transceiver* akan terpasang pada bagian dalam pesawat, baik di kabin maupun non-kabin, serta pada bagian luar pesawat[3].

2.2. Sistem Avionik

Avionic atau avionik merupakan singkatan dari *aviation electronic* di mana penggunaan elektronik pada pesawat terbang dimulai sejak Perang Dunia 2[7]. Beberapa tahun setelahnya, avionik diimplementasikan di sistem dan perangkat analog yang masih berhubungan dengan beberapa *property* analog, seperti tegangan, arus, frekuensi, lebar pulsa, dan fase yang bergeser, sedangkan prinsip pada perhitungan digital telah diketahui beberapa tahun sebelum teknologi tersebut diaplikasikan pada pesawat. Avionik sendiri mempunyai beberapa bagian. Bagian pada komponen avionik untuk pesawat sipil terdiri dari radar, Doppler, *attitude heading reference system*, *air data computer*, *radar altimeter*, *navigation computer*, dan *autopilot*[8]. Sistem avionik pada pesawat sipil umumnya dibagi dalam beberapa kategori berdasarkan tugas dan fungsi, yaitu sistem kendali terbang, sistem manajemen penerbangan, kontrol mesin pesawat, sistem manajemen utilitas, sistem manajemen kesehatan komponen dan sistem hiburan pada pesawat.

Teknologi avionik erat kaitannya dengan penggunaan sensor pada banyak perangkat di pesawat, seperti untuk navigasi maupun instrumentasi. Sensor utama pada pesawat sipil dapat dibagi menjadi 4 bagian utama yaitu *air data sensor* yang berfungsi mengindra tekanan dan suhu udara di sekitar pesawat saat

mengudara, *magnetic sensor* yang berfungsi membantu navigasi pesawat berdasarkan kutub magnetik bumi, sensor inersia dengan giroskop dan akselerometer yang berfungsi untuk mengetahui sikap dan kecepatan pesawat sehingga memungkinkan awak pesawat terbang pada sikap dan jalur yang sesuai serta menavigasi pesawat, sensor gabungan dari *air data* dan *inertial data system* atau yang biasa disebut ADIRS (*Air Data Inertial Reference Systems*), sensor radar yang menggunakan peralatan radar pada pesawat yang bertujuan untuk menavigasi pesawat, menghindari pesawat dari cuaca buruk, dan menentukan ketinggian pesawat[7].

3. Gambaran umum kandidat protokol WAIC

Sejumlah protokol nirkabel dapat digunakan dalam membangun WAIC. Dalam artikel ini, protokol yang dibandingkan adalah bluetooth, UWB, Zigbee, dan Wi-Fi, yang gambaran umum dari masing – masing teknologi tersebut dijelaskan sebagai berikut.

3.1. Bluetooth

Bluetooth yang dikenal juga dengan standar IEEE 802.15.1 merupakan sistem nirkabel yang didesain untuk menggantikan kabel untuk jarak pendek [9]. Cakupan bluetooth disebut dengan *wireless personal area network* (WPAN). Dalam protokol ini terdapat dua topologi yang dapat digunakan, yakni *piconet* dan *scatternet*. Suatu *piconet* merupakan WPAN yang dibentuk oleh satu piranti bluetooth *master* serta satu atau lebih piranti bluetooth *slave*. Setiap *piconet* memiliki alamat yang didefinisikan oleh *master* berdasar kanal *frequency hopping* (lompatan frekuensi). Semua piranti yang berkomunikasi dalam suatu *piconet* melakukan sinkronisasi menggunakan *clock* dari *master*. Transmisi yang dilakukan piranti *master* dapat berupa *point-to-point* (titik-ke-titik) atau *point-to-multipoint* (titik-ke-banyak titik). Dalam mode aktif, piranti *slave* dapat berupa mode *parked* atau siaga untuk mengurangi konsumsi daya. Dua *piconet* dapat terkoneksi dan membentuk *scatternet*. Suatu perangkat *bluetooth* dapat berada pada beberapa *piconet* pada saat yang sama, sehingga memungkinkan informasi mengalir dalam area cakupan *piconet* tunggal. Suatu perangkat dalam *scatternet* dapat menjadi *slave* pada beberapa *piconet*.

Bluetooth menggunakan teknik komunikasi *spread spectrum* (spektrum tersebar) pada pita 2,4 GHz, yang pada sejumlah negara tidak diperlukan lisensi dan dikenal dengan pita *industry, scientific, dan medical* (ISM). Bluetooth menggunakan teknik transmisi *frequency hopping spread spectrum* (FHSS) dalam 79 kanal dengan lebar pita 1 MHz. Karena Bluetooth menggunakan pita 2,4 GHz, kemungkinan terjadinya interferensi menjadi lebih besar. Pada prinsipnya, bluetooth memiliki lompatan frekuensi adaptif untuk menghindari tabrakan kanal. Dari sisi ukuran jaringan, maksimum piranti dalam satu sel jaringan adalah delapan dengan rincian 7 piranti sebagai *slave* dan 1 piranti sebagai *master*. Struktur jaringan yang lebih kompleks dimungkinkan dalam bluetooth menggunakan teknik *scatternet*.

Dari sisi keamanan, bluetooth menggunakan sandi aliran E0 dan *shared secret* dengan *cyclic redundancy check* (CRC) 16 bit. Dari sisi efisiensi pengkodean data, Bluetooth memiliki efisiensi yang baik untuk maksimum data 339 byte [9]. Dari sisi penggunaan daya, Bluetooth mengkonsumsi daya yang relatif kecil.

3.2. ZigBee

Protokol ZigBee dikenal juga dengan nama IEEE 802.15.4. Protokol ini digunakan untuk *low-rate* WPAN. Dalam hal ini, ZigBee digunakan untuk piranti sederhana dengan konsumsi daya minimal dan umumnya beroperasi dalam cakupan *personal operating space* (POS) 10 meter. ZigBee menyediakan jaringan *mesh* yang dapat terorganisir sendiri, *multi-hop*, dan andal dengan masa pakai baterai yang lama [10] [11]. Dua tipe piranti berbeda dapat berpartisipasi dalam suatu jaringan LR-WPAN, yakni piranti dengan fungsi penuh atau *full-function device* (FFD) dan piranti dengan fungsi tereduksi atau *reduced-function device* (RFD). Tipe FFD dapat beroperasi dalam tiga mode yakni sebagai koordinator PAN, koordinator, atau piranti. Tipe FFD dapat berkomunikasi ke RFD atau FFD lainnya, sedangkan RFD hanya dapat berkomunikasi pada satu FFD. Tipe RFD ditujukan untuk aplikasi yang sangat sederhana, seperti saklar lampu atau sensor infra merah pasif. Alat elektronika tersebut tidak membutuhkan

pengiriman data dalam jumlah besar dan hanya bisa terkoneksi dengan sebuah FFD pada satu waktu. Sebagai konsekuensinya, tipe RFD dapat diimplementasikan menggunakan sumber daya dan kapasitas memori minimal. Setelah diaktifkan pada pertama kalinya, FFD dapat membentuk jaringannya sendiri serta menjadi koordinator PAN. Semua jaringan bintang beroperasi secara independen dari jaringan bintang lain yang sedang beroperasi. Hal ini bisa dicapai dengan memilih identitas PAN yang sedang tidak digunakan oleh jaringan lain dalam cakupan frekuensi radio. Setelah pengenalan PAN dipilih, koordinator PAN dapat mengizinkan piranti lainnya untuk bergabung pada jaringan tersebut. Suatu RFD dapat terhubung ke suatu jaringan pohon klaster sebagai *leave node* pada ujung cabang. Hal ini karena RFD hanya dapat bergabung dengan satu FFD pada satu waktu. Tipe FFD lainnya dapat bertindak sebagai koordinator dan menyediakan layanan sinkronisasi pada piranti lain atau koordinator lainnya. Hanya satu dari koordinator – koordinator ini yang dapat menjadi koordinator PAN keseluruhan, yakni yang memiliki sumber daya komputasi lebih besar dibandingkan dengan piranti lainnya dalam PAN.

ZigBee menggunakan teknik komunikasi spektrum tersebar urutan langsung atau *direct sequence spread spectrum* (DSSS) dengan 16 kanal dan lebar pita 2 MHz. Sama seperti Bluetooth yang menggunakan pita 2,4 GHz, ZigBee juga rentan menghadapi interferensi. Untuk mengatasinya, ZigBee menggunakan teknik pemilihan frekuensi dinamik dan kendali daya transmisi. Ukuran jaringan bintang ZigBee dapat terdiri dari 65000 piranti yang memungkinkan struktur jaringan kompleks menggunakan pohon klaster atau jaringan *mesh*.

Dari sisi keamanan, ZigBee mengadaptasi sandi blok *advanced encryption standard* (AES) dengan mode counter (CTR) dan sandi blok *chaining message authentication code* (CBC-MAC), yang dikenal sebagai CTR dengan CBC-MAC (CCM), dengan CRC, berturut – turut, sebesar 32 bit dan 16 bit. Dari sisi efisiensi pengkodean data, ZigBee memiliki efisiensi yang baik untuk ukuran data lebih kecil dari 102 byte. Dari sisi penggunaan daya, protokol ZigBee menggunakan daya yang relatif kecil.

3.3. Ultra-Wideband (UWB)

Protokol UWB menarik untuk digunakan sebagai komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi jarak pendek dalam ruangan [12]. Salah satu karakteristik menarik dari UWB adalah lebar pita yang lebih dari 110 Mbps (hingga 480 Mbps) yang dapat memenuhi aplikasi pengiriman audio dan video di jaringan rumah serta dapat juga digunakan sebagai pengganti kabel nirkabel *bus serial* berkecepatan tinggi seperti USB 2.0 dan IEEE 1394.

UWB menggunakan pita frekuensi 3,1 GHz sampai dengan 10,6 GHz, dengan standar 802.15.3a yang tidak disetujui dan terganggu, dengan dua teknik penyebaran, yakni DS-UWB dan MB-OFDM. Untuk menghindari interferensi, UWB menyediakan lompatan frekuensi adaptif sebagai cara untuk menghindari tabrakan kanal. Dari sisi ukuran jaringan, UWB *piconet* memiliki maksimal piranti dalam jaringan sebanyak delapan (tujuh sebagai *slave* dan satu sebagai *master*). Protokol UWB dapat membentuk struktur jaringan yang lebih kompleks dari sel dasar melalui bentuk *peer-to-peer*.

Dari sisi keamanan, UWB menggunakan mekanisme enkripsi dan autentikasi yang sama dengan ZigBee, yakni mengadopsi sandi blok AES dengan mode CTR dan CCM. Dari sisi efisiensi pengkodean, UWB memiliki efisiensi yang baik untuk ukuran data yang besar. Dalam penelitian [9], data maksimal yang bisa ditangani sebesar 2044 byte. Dari sisi penggunaan daya, protokol UWB memiliki konsumsi daya yang lebih besar dibandingkan dengan dan ZigBee. Meskipun demikian, dari sisi satuan mJ/Mb, UWB memiliki efisiensi penggunaan energi yang baik.

3.4 Wireless fidelity (Wi-Fi)

Wireless fidelity (Wi-Fi) mencakup standar IEEE 802.11 a/b/g untuk jaringan nirkabel lokal atau *wireless local area network* (WLAN). Protokol ini memungkinkan pengguna untuk berselancar di Internet dengan kecepatan *broadband* ketika terhubung dengan suatu *access point* (AP) atau dalam mode *ad hoc*. Arsitektur IEEE 802.11 terdiri atas sejumlah komponen yang berinteraksi untuk menyediakan LAN nirkabel yang mendukung mobilitas stasiun secara transparan ke lapisan atas. Sel dasar dari LAN IEEE

802.11 disebut dengan *basic service set* (BSS), yang merupakan sekumpulan stasiun bergerak atau diam di tempat. Jika satu stasiun bergerak keluar BSS, stasiun tersebut tidak lagi dapat berkomunikasi dengan anggota lain dari BSS. Berdasar BSS yang digunakan, IEEE 802.11 menggunakan konfigurasi jaringan *independent basic service set* (IBSS) dan *extended service set* (ESS).

Sama seperti Bluetooth dan ZigBee, protokol Wi-Fi menggunakan teknik spektrum tersebar pada pita frekuensi 2,4 GHz. Wi-Fi menggunakan DSSS (802.11), *complementary code keying* (CCK, 802.11b), atau modulasi OFDM (802.11 a/g) dengan kanal radio sebanyak 14 (11 tersedia di US, 13 di Eropa, dan 1 di Jepang) dengan lebar pita 22 MHz. Untuk menghadapi interferensi, Wi-Fi memiliki mekanisme yang sama dengan ZigBee, yakni dengan seleksi frekuensi dinamis dan kendali daya transmisi. Dari sisi ukuran jaringan, Wi-Fi dapat mencakup 2007 piranti untuk satu BSS Wi-Fi terstruktur. Untuk jaringan yang lebih kompleks, Wi-Fi menggunakan konfigurasi jaringan ESS.

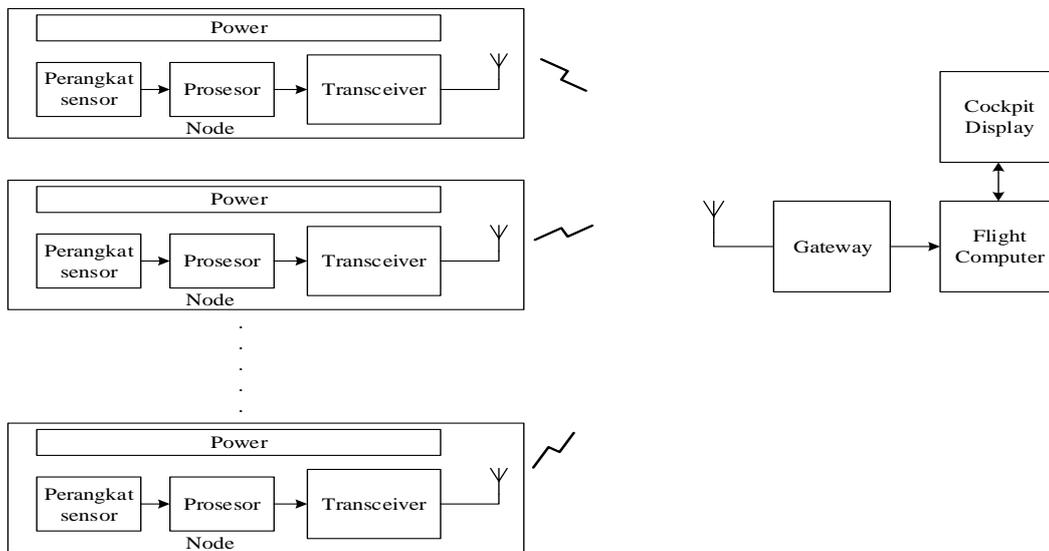
Dari sisi keamanan, Wi-Fi dalam standar 802.11 menggunakan sandi aliran RC4 untuk enkripsi dan *checksum* CRC-32 untuk integritas. Meskipun demikian, beberapa kelemahan serius teridentifikasi oleh cryptanalyst yakni sembarang kunci *wired equivalent privacy* (WEP) dapat dibobol dengan perangkat lunak yang ada dalam waktu kurang dari dua menit. Oleh karenanya, WEP digantikan dengan Wi-Fi *protected access 2* (WPA2), yakni standar IEEE802.11i, yang menggunakan sandi blok AES dan CCM. Dari sisi efisiensi pengkodean, muatan data maksimal yang dapat dibawa oleh protokol ini adalah 2312 byte. Dari sisi penggunaan daya, protokol Wi-Fi sama dengan UWB, yakni memiliki efisiensi penggunaan energi yang baik ditinjau dari satuan mJ/Mb.

4. Desain jaringan avionik nirkabel

Pembahasan mengenai bagian-bagian pesawat dan teknologi nirkabel telah dijelaskan pada bagian sebelum ini. Pada bagian ini dideskripsikan potensi pengembangan WSN pada beberapa aplikasi di pesawat dengan pertimbangan protokol nirkabel yang tepat pada masing-masing sensor.

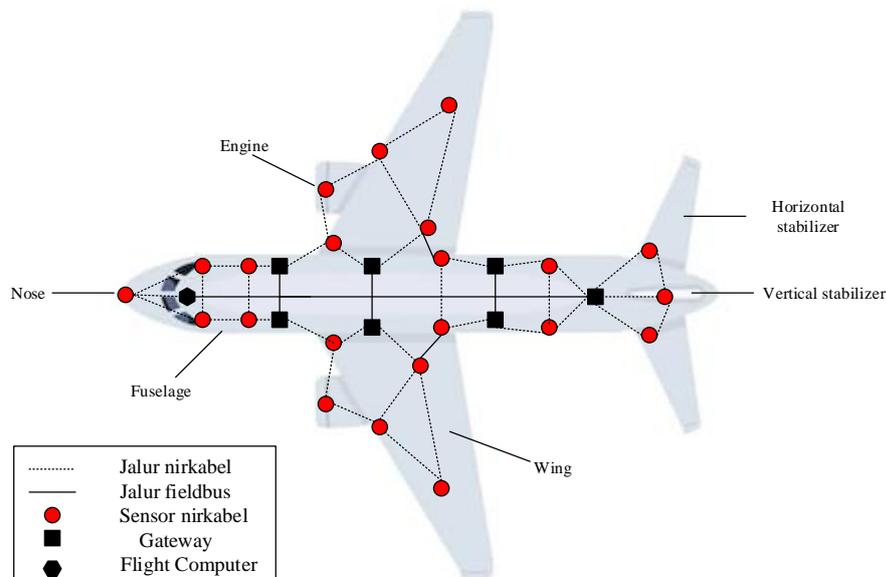
4.1. Konsep fly-by-wireless

Sebagaimana diketahui fungsi sensor pada umumnya adalah mengindra suatu fenomena fisik untuk memperoleh sebuah besaran sehingga dapat diketahui nilainya. Penginderaan ini merupakan sebuah proses perhitungan yang diperoleh setelah mengumpulkan sekian banyak data sehingga mendapatkan nilai yang mendekati dari nilai yang sebenarnya. Kegiatan tersebut dikenal dengan *measurement information system*[13]. Pada pesawat itu sendiri semua data dikumpulkan dari beberapa sensor lalu diolah dengan suatu perangkat komputer. Metode konvensional pada pesawat yakni masih menggunakan kabel yang membentang dari titik terpasang sensor menuju ke komputer pengolah data, sehingga pengkabelan yang kompleks akan menambah beban pesawat. Sensor nirkabel merupakan teknologi yang menggunakan jaringan komunikasi untuk menghantarkan data penginderaan menuju ke komputer tanpa kabel lagi. Metode ini disebut *fly-by-wireless*, di mana konsepnya berdasarkan antarmuka antara perangkat pemrosesan dan instrumen penginderaan yang diletakkan pada titik-titik informasi yang dibutuhkan. Adapun konsep dari teknologi nirkabel dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsep wireless sensor network pada pesawat[13]

Konsep WSN pada umumnya terdiri dari titik-titik sensor dan *gateway*, di mana titik sensor merupakan komponen kesatuan dari jejaring yang dapat menghasilkan informasi sedangkan *gateway* merupakan kesatuan proses pengumpulan informasi dari titik- titik sensor sehingga dapat dilakukan pengolahan informasi lebih lanjut[4]. Titik- titik sensor tersebut akan mengirimkan informasi ke *gateway* setelah diolah pada prosesor dan dikirimkan melalui *transceiver* yang selanjutnya akan diolah pada *flight komputer*. Dalam hal ini, data yang dikirimkan dapat divisualisasikan pada monitor awak pesawat. Selanjutnya, pada Gambar 3 menunjukkan ilustrasi desain implementasi WSN pada pesawat sipil, di mana sensor nirkabel ini telah terhubung dengan *gateway* terdekat. Sedangkan titik- titik sensor yang terletak jauh dari *gateway* dapat berkomunikasi dengan *gateway* melalui titik sensor terdekat dengan sensor tersebut[14].



Gambar 3. Ilustrasi desain fly-by-wireless pada pesawat [1]

4.2. Rekomendasi protokol WAIC untuk aplikasi pesawat

Pada pembahasan sebelumnya disebutkan bahwa penggunaan sensor nirkabel dapat mengatasi permasalahan beban pesawat akibat pengkabelan yang kompleks. Implementasi teknologi nirkabel pada sensor – sensor di pesawat dibagi berdasarkan *data rate* dan lokasi dari sensor berada. Klasifikasi sensor berdasarkan *data rate* dibagi menjadi dua yaitu *low data rate* dan *high data rate*, sedangkan lokasi sensor dibagi menjadi internal dan eksternal. Untuk aplikasi *low data rate* dengan posisi internal maupun eksternal mempunyai karakteristik *data rate* < 10 kbps dan hampir semua *transceiver* akan aktif selama penerbangan sedang berlangsung. Sedangkan aplikasi *high data rate* dengan posisi internal maupun eksternal mempunyai karakteristik *data rate* > 10kbps[15]. Berdasarkan karakteristik *data rate* dari aplikasi sensor pada pesawat, solusi untuk komunikasi nirkabel ditinjau dari beberapa kandidat teknologi WAIC ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan protokol *Bluetooth*, *ZigBee*, *UWB*, *Wi-Fi*.

	<i>Bluetooth</i>	<i>ZigBee</i>	<i>UWB</i>	<i>Wi-Fi</i>
Pita frekuensi	2,4 GHz	868/915 MHz; 2,4 GHz	3,1 – 10,6 GHz	2,4 GHz; 5 GHz
Laju sinyal maks.	1 Mb/s	250 Kb/s	110 Mb/s	54 Mb/s
Jarak nominal	10 m	10 – 100 m	10 m	100 m
Daya nominal TX	0 – 10 dBm	(-25) – 0 dBm	- 41,3 dBm/MHz	15 – 20 dBm
Jumlah kanal RF	79	1/10; 16	(1-15)	14 (2,4 GHz)
Lebar pita kanal	1 MHz	0,3/0,6 MHz; 2 MHz	500 MHz – 7,5 GHz	22 MHz
Jumlah maks. titik dalam sel	8	> 65000	8	2007

Dari tabel 1, dapat diketahui bahwa kandidat protokol teknologi WAIC memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Selanjutnya kelebihan dan kekurangan dari masing-masing protokol akan dianalisis kebutuhan untuk tiap – tiap aplikasi berdasarkan karakteristiknya. Usulan teknologi WAIC untuk aplikasi sensor nirkabel pada pesawat dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rekomendasi protokol WAIC untuk beberapa aplikasi pada pesawat.

Aplikasi	Tipe & lokasi	<i>Max. average application data rate (kbps)</i>	Jumlah titik sensor	Usulan protokol WAIC
Sensor tekanan udara kabin	Low & internal	0.8	11	Zigbee/ Bluetooth
Sensor asap pada kabin	Low & internal	0.1	30	Zigbee/ Bluetooth
Sensor proximity roda pesawat	Low & eksternal	0.2	30	Zigbee/Wi-Fi
Sensor <i>ice detection</i>	Low & eksternal	0.5	20	Zigbee/Wi-Fi
<i>Air data sensors</i>	High & internal	100	8	UWB/Wi-Fi
Sistem <i>full authority engine controll (FADEC)</i>	High & internal	12.5	10	UWB

Sistem komunikasi avionik	High & eksternal	100	30	UWB
Sensor struktural	High & eksternal	45	250	UWB

Tabel 2 menunjukkan informasi mengenai perkiraan rata-rata *data rate* yang dibutuhkan oleh masing-masing sensor serta usulan protokol WAIC yang dapat diimplementasikan. Pada bagian sebelumnya kandidat protokol dari WAIC telah dijabarkan dari sisi cara kerjanya beserta kelebihan dan kekurangan dari tiap protokol nirkabel. Adapun pertimbangan pemilihan protokol WAIC sebagai berikut.

- Sensor tekanan udara kabin dan deteksi asap berfungsi mengetahui nilai tekanan udara dan mendeteksi adanya asap dalam kabin. Sensor ini umumnya diletakkan dalam kabin penumpang. Protokol ZigBee/ bluetooth direkomendasikan untuk sensor tersebut karena kebutuhan transmisi data yang tidak terlalu besar dan letak sensor di dalam kabin sehingga tidak terpengaruh dengan gangguan luar dan titik – titik sensor yang tidak terlalu banyak.
- Sensor *proximity* roda pesawat dan sensor *ice detection* merupakan sensor yang terletak di luar badan pesawat dengan kebutuhan transmisi data yang rendah, sehingga diusulkan protokol ZigBee/Wi-Fi yang mempunyai jarak transmisi lebih dari 10 m dengan jumlah titik sensor yang relatif banyak.
- Keempat sensor dengan tipe *high data rate* dan lokasi internal maupun eksternal merupakan sensor yang memiliki data kritis yaitu berupa informasi ketinggian, kecepatan, *engine control*, komunikasi antar perangkat avionik, dan kondisi struktur pesawat. Protokol UWB direkomendasikan karena karakteristik yang dimilikinya berupa laju sinyal yang tinggi serta pita frekuensi yang besar sehingga UWB memiliki pertahanan terhadap derau yang baik.

4.3. Tantang WAIC di pesawat

Pada bagian ini didiskusikan beberapa faktor penting bagi saluran nirkabel di pesawat yang menjadikan tantangan tersendiri dalam pengaplikasiannya selain dari tantangan protokol komunikasi, yakni faktor – faktor yang harus dipertimbangkan saat menggunakan teknologi WAIC. Faktor tersebut meliputi sisi desain konstruksi pesawat, faktor interferensi elektromagnetik, dan faktor pengaruh gangguan alam pada saluran nirkabel dalam konteks lingkungan WAIC.

4.3.1 Faktor desain konstruksi pesawat.

Pada interior pesawat, besarnya interferensi antar kompartemen sangat bergantung pada struktur dan bahan sekat. Laporan ITU-R [15] menyediakan model propagasi sinyal dari tipe pesawat berbadan lebar atau pesawat dengan dua *aisle* (lorong) berdasar pengukuran eksperimental. Untuk mendukung komunikasi yang andal, margin pudaran yang besar harus dipilih untuk mengatasi *deep fading* (pudaran dalam) akibat troli dan penumpang yang bergerak dalam kabin. Hal ini mempengaruhi sensor – sensor yang terletak dalam kabin pesawat seperti sensor tekanan udara kabin dan sensor asap. Modulasi spektrum tersebar juga dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan nirkabel menghadapi pudaran dalam.

4.3.2 Faktor interferensi elektromagnetik.

Elektromagnet menjadi salah satu aspek menarik dalam memahami pengaruh kompleks lingkungan pesawat pada saluran nirkabel [16]. Penelitian [15] melakukan percobaan dalam *reverberation chamber* (ruang gema) dan diperoleh kesimpulan bahwa jaringan nirkabel tidak andal dalam lingkungan gema tersebut karena kinerjanya bergantung pada faktor-Q dan posisi *transceiver*. Hal ini menjadi masalah bagi pesawat berbadan besar dengan sayap yang panjang, karena penempatan sensor dengan *gateway* berada pada posisi yang tidak berdekatan sehingga rentan terjadinya interferensi elektromagnetik. Dari

perspektif komunikasi, faktor-Q berkaitan erat dengan rerata tundaan akses dan sifat pudaran frekuensi. Nilai Q yang rendah artinya saluran nirkabel rentan terhadap *flat fading* (pudaran datar) daripada *frequency-selective fading* (pudaran frekuensi tertentu). Pudaran frekuensi tertentu menjadi alasan utama kegagalan komunikasi dalam lingkungan dengan faktor-Q tinggi.

4.3.3 Faktor pengaruh gangguan alam.

Sejatinya pesawat merupakan alat transportasi yang melaju di udara sehingga menjadi rentan terhadap perubahan tekanan udara, suhu serta kelembaban udara yang dapat terjadi kapan saja. Sistem WAIC harus dapat beroperasi pada kondisi tersebut. Berbeda dengan sistem kabel yang memiliki pelindung kabel, sistem nirkabel rentan terhadap gangguan alami. Sejumlah gangguan alam yang dapat mempengaruhi karakteristik propagasi sinyal WAIC adalah gas atmosfer, hidrometeor, elektrometeor, dan aktivitas matahari [17] dalam [1]. Aplikasi WAIC pada sensor dengan kondisi tertentu seperti *full authority engine control* (FADEC) sangat rentan dengan kondisi suhu di sekitar area penginderaan dan sistem komunikasi perangkat avionik juga rentan dengan gas atmosfer dan hidrometeor. Walaupun degradasi sinyal akibat gas atmosfer dan hidrometeor dapat diabaikan dalam spektrum WAIC 4,2 – 4,4 GHz. Kedua gangguan tersebut secara signifikan menurunkan propagasi sinyal dalam spektrum gelombang 60 GHz [17].

5. Kesimpulan

Teknologi komunikasi nirkabel merupakan solusi dari masalah kompleksitas pengkabelan pada pesawat yang berakibat pada menambahnya beban pesawat, teknologi ini disebut *wireless avionics intracommunications* (WAIC). Pada artikel ini, diusulkan beberapa protokol komunikasi nirkabel untuk beberapa aplikasi sensor pada pesawat. Pemilihan aplikasi sensor pada pesawat didasarkan pada tipe data komunikasi yang dibutuhkan dari tiap – tiap sensor dan lokasi dari sensor itu sendiri. Protokol yang direkomendasikan pada masing- masing aplikasi ditentukan berdasarkan dari karakteristik protokol komunikasi seperti laju sinyal dan jarak nominal. Apabila dibandingkan dengan kondisi avionik di pesawat saat ini, solusi tersebut harus dapat memberikan performansi yang sama baiknya dengan teknologi konvensional, sehingga penelitian lebih lanjut seperti pertimbangan gangguan dan desain pesawat terhadap aplikasi protokol di masing- masing sensor menjadi hal yang menarik dan potensial untuk dikembangkan.

6. Daftar Pustaka

- [1] Park, P., Di Marco, P., Nah, J., & Fischione, C. (2020). Wireless avionics intracommunications: A survey of benefits, challenges, and solutions. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(10), 7745-7767.
- [2] Yedavalli, R.K., Belapurkar, R.K. (2011). Application of wireless sensor networks to aircraft control and health management systems. *Journal of Control Theory and Applications*, 9(1), 23-33.
- [3] Samano-Robles, R., Tovar, E., Cintra, J., & Rocha, A. (2016). Wireless avionics intracommunications: current trends and design issues. *The Eleventh International Conference on Digital Information Management*, 266-273.
- [4] Gao, S., Dai, X., Hang, Y., Guo, Y., & Ji, Q. (2018). Airborne wireless sensor networks for airplane monitoring system. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 1-18.
- [5] Indriyanto, T. (2015). *Pengantar Teknologi Avionika*. Bandung: ITB Press.
- [6] Kuznetsov, S.V. (2020). Analysis of on-board wireless sensor network as an alternative to traditional wired network. *Civil Aviation High Technologies*, 23(01), 49-58.
- [7] Moir, I., Seabridge, A., & Jukes, M. (2013). *Civil avionics systems*. John Wiley & Sons.
- [8] Collinson, R. P. (2013). *Introduction to avionics systems*. Springer Science & Business Media.
- [9] Lee, J. S., Su, Y. W., & Shen, C. C. (2007, November). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. In *IECON 2007-33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 46-51). IEEE.

- [10] Lee, J. S. (2006). Performance evaluation of IEEE 802.15. 4 for low-rate wireless personal area networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 52(3), 742-749.
- [11] Lee, J. S., & Huang, Y. C. (2006, October). ITRI ZBnode: A ZigBee/IEEE 802.15. 4 platform for wireless sensor networks. In *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (Vol. 2, pp. 1462-1467). IEEE.
- [12] Porcino, D., & Hirt, W. (2003). Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead. *IEEE communications magazine*, 41(7), 66-74.
- [13] Stankunas, J., Rudinskas, D., Lasauskas, E. (2011). Experimental research of wireless sensor network application in aviation. *Electronics And Electrical Engineering*, 5(111), 41-44.
- [14] Karl, H., & Willig, A. (2005). *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons, Ltd.
- [15] ITU. (2013). Technical Characteristics and Spectrum Requirements of Wireless Avionics Intra-Communications Systems to Support Their Safe Operation (ITU-R Report M. 2283-0).
- [16] Panitz, M., & Hope, D. C. (2014). Characteristics of wireless systems in resonant environments. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, 3(3), 64-75.
- [17] Aglargoz, A., & Spangenberg, H. (2014, October). Safety and reliability analysis of wireless data communication concepts for flight control systems. In *2014 IEEE/AIAA 33rd Digital Avionics Systems Conference (DASC)* (pp. 2E2-1). IEEE.

