

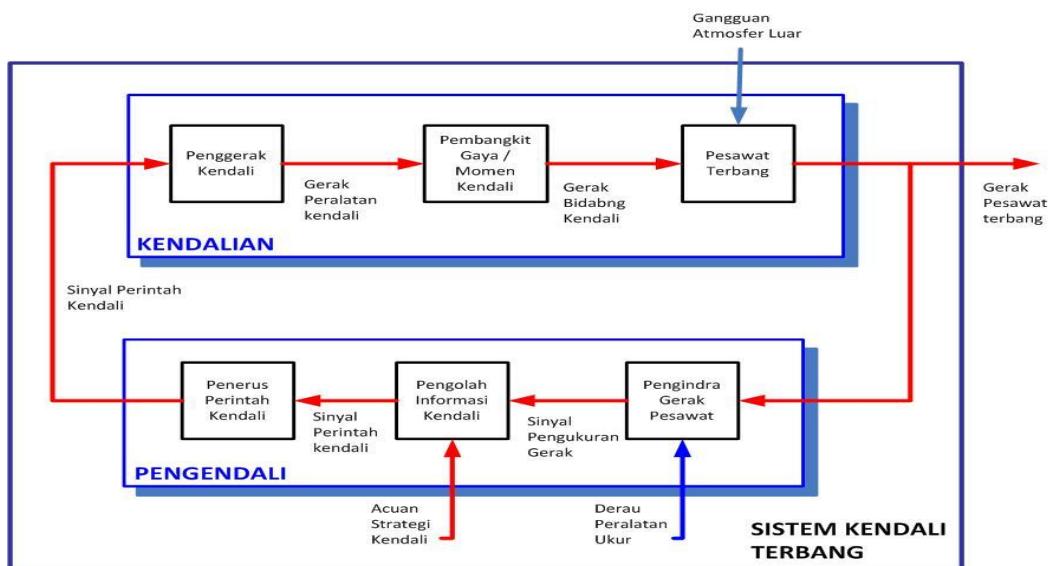
BAB II SISTEM KENDALI OTOMATIS PADA UAV

2.1 Definisi

UAV dan pesawat terbang adalah dua hal yang berbeda, walaupun UAV banyak yang mengadopsi bentuk pesawat terbang akan tetapi UAV tidak menggunakan manusia sebagai pengendali di dalam pesawat. Hal ini menyebabkan adanya perbedaan pada definisi untuk kendali otomatis untuk UAV dengan sistem kendali untuk pesawat terbang. Pada pesawat terbang berawak, sistem kendali otomatis bertujuan untuk mempermudah kerja manusia pengendali pesawat terbang. Sistem kendali otomatis pada UAV bertujuan untuk menggantikan peranan manusia sebagai pengendali UAV.

Pengendalian (Control) adalah proses kegiatan melaksanakan pengaturan sikap dan gerak pesawat terbang agar tetap sedekat mungkin dengan acuan sikap maupun acuan gerak yang telah dipilih[8]. Proses pengendalian terdiri dari dua komponen utama yaitu kendalian dan pengendali. Secara umum proses pengendalian adalah proses Lingkar Tertutup (Closed Loop) antara Kendalian (Yang dikendalikan) dan Pengendali (Yang mengendalikan).

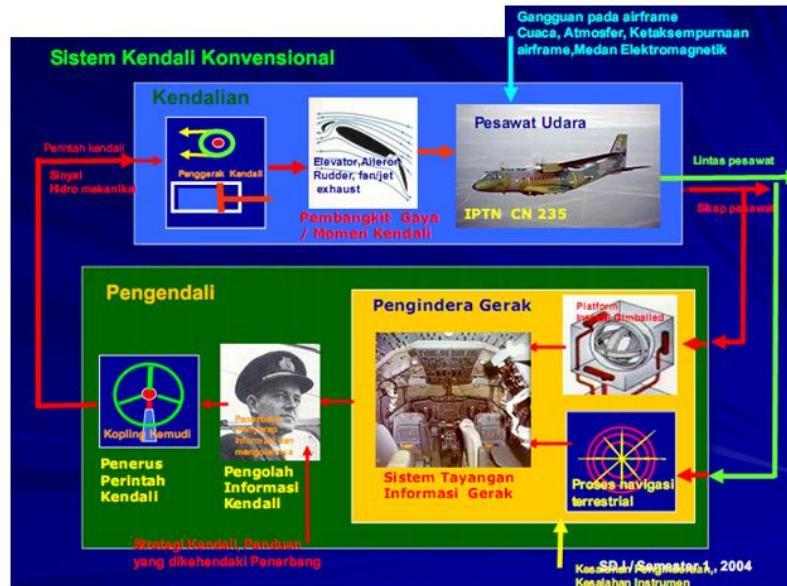
Sesuai dengan referensi[8], sistem kendali pesawat terbang dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Diagram fisik sistem kendali terbang

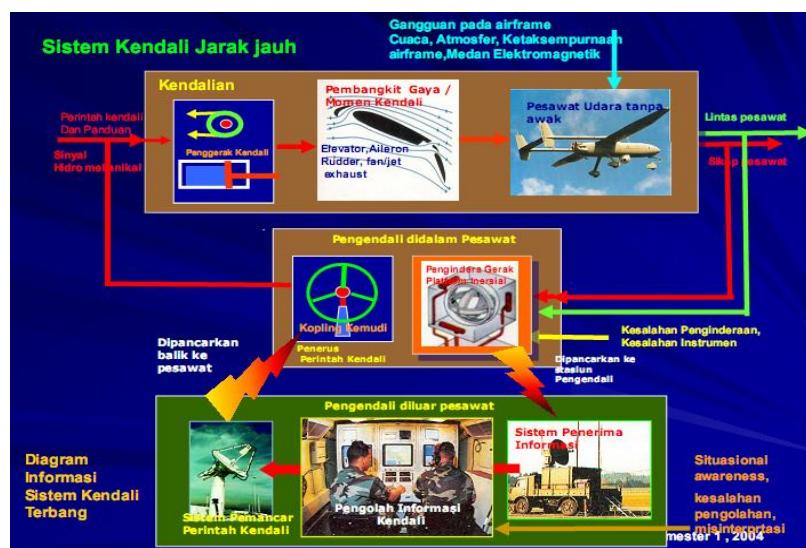
Referensi[8] juga menyebutkan bahwa terdapat dua tipe lay-out sistem kendali berdasarkan letak unsur-unsur yang membentuk sistem kendali tersebut, yaitu:

- Sistem kendali konvensional, jika seluruh unsur-unsur yang membentuk sistem kendali tersebut berada seluruhnya di dalam pesawat terbang. Secara skematis digambarkan pada gambar 1.2.



Gambar 2.2 Sistem kendali terbang konvensional *fixed wing*

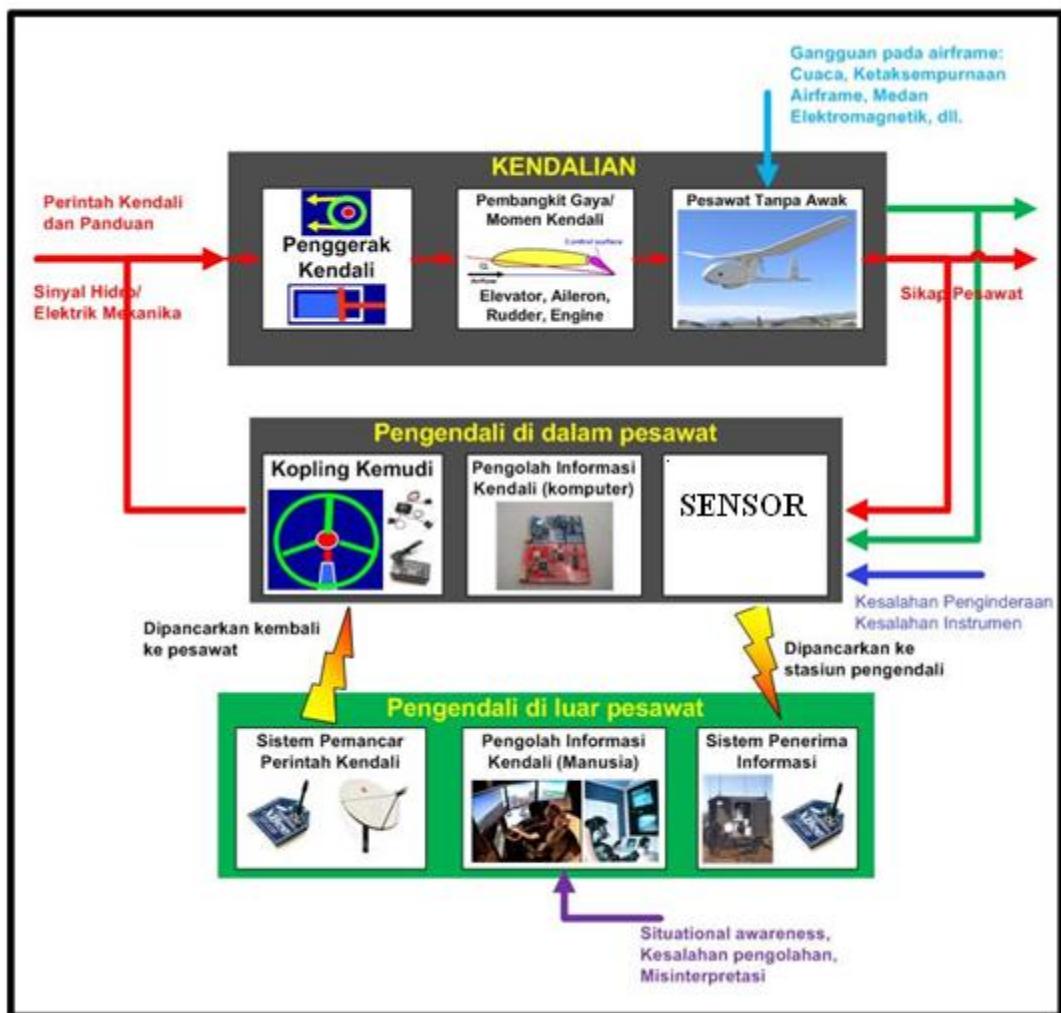
- Sistem kendali jarak jauh, jika beberapa unsur pada bagian pengendali berada di luar pesawat udara. Skema sistem kendali jarak jauh ditunjukkan pada gambar 1.3.



Gambar 2.3 Sistem kendali jarak jauh

Saat ini suatu UAV modern yang berteknologi tinggi seperti UAV Predator buatan Amerika Serikat memiliki suatu sistem pengendali di dalam pesawat yang canggih sehingga membuat UAV ini dapat menjalankan misi dari awal sampai akhir. Mengambil Predator sebagai contoh, maka suatu sistem kendali yang mampu menerbangkan suatu UAV menuju suatu titik misi, lalu mengembalikan UAV ke tempat peluncuran awal atau tujuan akhir lain setelah menjalankan misi, dan juga mengantisipasi gangguan-gangguan tertentu selama misi terbang suatu UAV didefinisikan penulis sebagai sistem kendali otomatis untuk UAV.

Secara umum bagan sistem kendali otomatis untuk pesawat terbang nir awak dijelaskan oleh gambar berikut:



Gambar 2.4 Bagan sistem kendali otomatis pada UAV

Jika dibandingkan dengan gambar 2.3, gambar 2.4 memiliki sebuah pengolah informasi kendali pada blok pengendali di dalam pesawat. Pesawat pada gambar 2.3 dikendalikan oleh manusia dari jarak jauh. Pada gambar 2.4 pesawat dikendalikan oleh sebuah pengolah informasi kendali.

Secara garis besar, sistem kendali terbang otomatis pada UAV terdiri dari kendalian dan pengendali. Pengendali terbang UAV dibagi lagi menjadi pengendali di dalam pesawat dan pengendali di luar pesawat.

2.1.1 Kendalian

Dengan mengacu pada gambar 2.4 yang dimaksud dengan kendalian adalah sesuatu yang dikendalikan, pada sistem kendali pesawat terbang nir awak, blok kendalian terdiri dari:

1. Penggerak bidang kendali pembangkit gaya/momen kendali

Banyak UAV yang dibuat mirip pesawat terbang konvensional dengan konfigurasi *fixed wing*. Konfigurasi ini memiliki bidang kendali rudder, aileron, dan elevator. Bidang kendali pada UAV digerakkan dengan suatu motor listrik kecil yang disebut servo.

2. Pesawat tanpa awak

Bentuk *airframe* suatu UAV bergantung pada misi yang menjadi alasan dibuatnya suatu UAV.

Blok kendalian ini sendiri mendapatkan input dari perintah kendali dan panduan terbang. Selain itu terdapat juga input dari lingkungan yang berupa ganguan. Gangguan pada airframe ini bisa berupa:

1. Gangguan cuaca
2. Gangguan yang disebabkan pada ketidak sempurnaan airframe
3. Medan elektromagnetik dll

Blok kendalian memberikan output yang berupa parameter sikap pesawat. Sikap pesawat ini menjadi parameter input blok pengendali pesawat.

2.1.2 Pengendali

Dengan mengacu pada gambar 1.4 sistem kendali pesawat nir awak terdapat dua macam pengendali, pengendali di dalam pesawat dan pengendali di luar pesawat. Suatu UAV, bisa memiliki sistem kendali di dalam pesawat saja atau memiliki sistem kendali di luar pesawat saja atau memiliki sistem kendali di dalam pesawat dan di luar pesawat.

2.1.2.1 Pengendali di dalam pesawat

Sistem kendali otomatis pada UAV dibuat sedemikian rupa sebagai pengganti pilot. Sebagai tiruan pilot, sistem pengendali otomatis untuk UAV memiliki komponen sebagai berikut:

a. Pengindera atau sensor

Sistem pengindra atau sensor pada sistem kendali otomatis UAV berfungsi membaca keadaan lingkungan dan parameter-parameter yang diperlukan dalam pengendalian suatu UAV. Sensor yang umum digunakan pada UAV secara umum dibagi menjadi:

1. Sensor gerak dan sikap terbang.

Pada aplikasi sistem kendali otomatis untuk UAV di dunia saat ini terdapat bermacam-macam sensor yang memiliki fungsi untuk mengindera sikap terbang suatu UAV. Sensor-sensor ini mempunyai prinsip kerja yang berbeda dalam mengindra sikap UAV. Berikut adalah sensor yang populer digunakan sebagai pengindra sikap terbang suatu UAV.

Inertial Measurement Unit (IMU)

IMU merupakan sensor digital yang dapat mengukur dan memberikan informasi kecepatan wahana, orientasi serta gaya gravitasi dengan

menggunakan *accelerometer* dan *gyroscope*. IMU menggunakan kombinasi dari beberapa *accelerometer* dan *gyroscope*. IMU pada umumnya digunakan secara luas pada pesawat udara termasuk UAV.

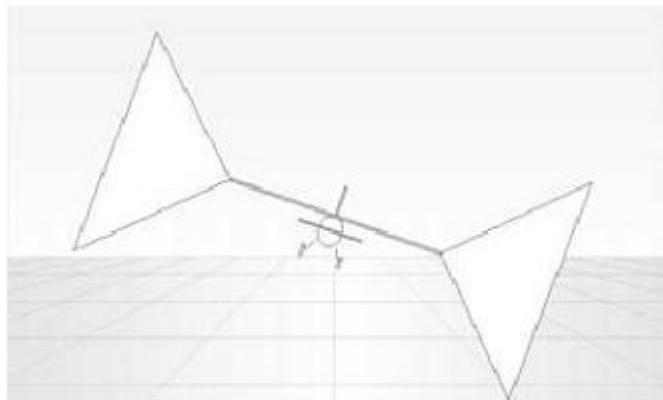
IMU bekerja dengan mendeteksi percepatan dengan satu atau lebih *accelerometer* dan mendeteksi perubahan atribut rotasional seperti pitch, roll dan yaw dengan menggunakan satu atau lebih *gyroscope*. Jumlah *accelerometer* dan *gyroscope* pada IMU menentukan *Degree of Freedom* (DOF) yang dapat diindra.

IMU bekerja dengan mendeteksi akselerasi dan gerakan rotasional pada sumbu-sumbu pesawat. Kelemahan utama IMU adalah penumpukan eror yang diakibatkan penghitungan keadaan. IMU mengetahui keadaan atau sikap suatu wahana dari penghitungan pembacaan akselerasi dan rotasi wahana. Penghitungan sikap pesawat dari pembacaan *accelerometer* dan *gyroscope* ini pasti memiliki *eror* walaupun sangat kecil. Hasil pembacaan sikap yang mengandung *eror* ini dijadikan dasar penghitungan sikap wahana selanjutnya. Hal ini mengakibatkan bertumpuknya *eror* pada hasil perhitungan IMU. *Erer* yang bertumpuk ini mengakibatkan “*drift*” atau pergeseran keadaan yang dibaca oleh IMU dengan keadaan yang sebenarnya[9].

Thermopile

Thermopile merupakan sensor panas dapat digunakan sebagai suatu sensor sikap terbang alternatif yang murah dan sederhana. Sensor ini di susun secara berpasang-pasangan pada setiap sumbu dengan penyusunan yang saling bertolak belakang. Ketika kedua buah sensor ini menerima energy yang relatif sama, maka sumbu dari pasangan sensor ini akan paralel terhadap horizon lokal. Cara kerja sistem sensor thermopile adalah membaca perbedaan pembacaan antara 2 sensor yang saling bertolak belakang.

Sepasang sensor yang disusun secara lateral dan longitudinal bisa digunakan sebagai pendeksi roll dan pitch. Sensor panas atau sensor thermopile mengindra perbedaan karakter inframerah antara bumi dan atmosfir[10]. Sensor ini bisa diletakkan di posisi mana saja di luar pesawat asalkan tidak ada yang menghalangi pandangan sensor terhadap horizon.



Gambar 2.5 Sensor Thermopile mengindra horizon pada sebuah UAV (UAV dilihat dari arah belakang)

Pada gambar 2.5 terlihat bahwa ketika pesawat bergerak roll ke kanan, sensor di kiri pesawat akan melihat langit yang lebih panas dan sensor yang dikanan akan melihat bumi yang dingin. Perbedaan pembacaan pada sensor dikanan dan di kiri sayap memberikan input yang diterjemahkan oleh pengolah data kendali terbang sebagai gerak roll pesawat.

Kelemahan sensor thermopile adalah penggunaannya yang sangat bergantung pada keadaan cuaca. Sebagai contoh apabila kita ingin menerbangkan pesawat di gurun pasir pada siang hari dengan intensitas matahari yang tinggi, sensitifitas sensor thermopile harus diturunkan agar tidak rusak. Sebaliknya, pada cuaca mendung atau berawan dimana perbedaan suhu antara bumi dan langit tidak tinggi maka sensitifitas thermopile harus dinaikkan sehingga perbedaan bacaan antara sensor yang saling bertolak belakang dapat diolah[11].

2. Sensor arah dan lintas terbang.

Sensor arah dan lintas terbang mengindra parameter-parameter seperti posisi pesawat, kecepatan terbang, dan ketinggian terbang. Parameter ini kemudian diberikan kepada sistem pengolah informasi kendali yang lalu akan diproses menjadi data heading dan lintas terbang. Pengembang UAV dari kalangan sipil pada umumnya menggunakan sistem navigasi satelit dan Tabung Pitot Statik untuk mengetahui posisi dan ketinggian terbang dari UAV tersebut. Di dunia ini ada beberapa sistem navigasi satelit seperti GPS, GLONASS, Galileo. Untuk saat ini, sistem navigasi satelit yang benar-benar berfungsi secara penuh adalah GPS. Hal ini membuat GPS menjadi sistem navigasi global yang umum digunakan oleh kalangan sipil. Untuk mendapatkan informasi arah dan lintas terbang, sensor yang umum digunakan pada UAV adalah:

Global Positioning System (GPS)

Global Positioning System (GPS) adalah sistem navigasi satelit global yang dapat memberikan informasi posisi dan waktu yang dapat diandalkan pada setiap lokasi pada permukaan bumi selama tidak ada yang menghalangi sinyal dari minimal empat satelit GPS[12]. GPS adalah suatu sistem navigasi kepunyaan Amerika Serikat yang bisa di manfaatkan secara bebas oleh siapa saja yang memiliki *receiver* GPS. GPS dibuat oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat yang pada awalnya hanya menggunakan 24 buah satelit.

Sistem GPS terdiri dari segmen luar angkasa, segmen kendali, dan segmen pengguna. Angkatan Udara Amerika Serikat mengembangkan, memelihara dan mengopersikan segmen luar angkasa dan segmen kontrol. Satelit GPS memancarkan sinyal dari luar angkasa. Sinyal tersebut diterima oleh setiap GPS *receiver* yang kemudian menggunakan sinyal tersebut untuk

menghitung lokasi tiga dimensi (lintang, bujur dan ketinggian) ditambah waktu aktual pada saat tersebut.



Gambar 2.6 Ilustrasi Satelit GPS

Segmen luar angkasa dari sistem GPS memiliki 24 sampai 32 buah satelit. Segmen kontrol dari sistem GPS yang terdiri atas sebuah *master control station*, sebuah *alternate master control station*, antena pada permukaan tanah, dan stasiun pengawas. Segmen pengguna terdiri dari ratusan ribu receiver yang digunakan oleh militer Amerika Serikat dan sekutunya yang bisa menangkap pelayanan sinyal GPS dengan akurasi yang tepat, dan puluhan juta *receiver* yang digunakan oleh kalangan sipil, komersial dan peneliti yang menangkap sinyal GPS dengan akurasi standar.

Sebuah GPS *receiver* menghitung posisinya dengan mengkalkulasi secara tepat *timing* dari sinyal yang dikirim oleh satelit GPS. Setiap satelit GPS secara terus menerus memancarkan sinyal yang terdiri dari :

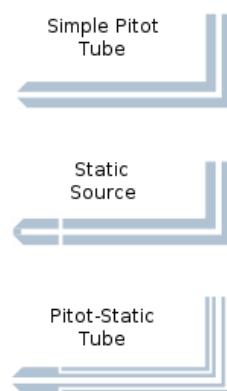
1. Waktu sinyal di pancarkan.
2. Lokasi persis satelit pada orbit.
3. Kesehatan umum dari sistem dan dari orbit seluruh satelit GPS lainnya.

Pada penggunaan umum, suatu GPS *receiver* menggunakan minimal 4 satelit GPS untuk mengetahui posisinya. Dengan menghitung *timing* dari sinyal yang dipancarkan oleh suatu satelit GPS, *receiver* GPS mengetahui jaraknya dari suatu satelit GPS. Jika dibuat sebuah bola imajiner dengan jarak dari satelit GPS dan GPS *receiver* sebagai jari-jari, maka posisi suatu GPS *receiver* adalah di suatu tempat di permukaan bola imajiner tersebut. Dengan menggunakan minimum 4 satelit GPS dan mengasumsikan suatu keadaan ideal, maka posisi dari suatu GPS *receiver* adalah tepat pada titik perpotongan dari 4 bola imajiner.

Receiver GPS menggunakan protokol khusus untuk merelay data posisi ke PC atau alat lainnya. Protokol yang banyak digunakan secara luas pada saat ini salah satunya adalah protokol NMEA. Protokol lainnya yang cukup dikenal adalah protokol SiRF dan MTK. GPS *receiver* menggunakan koneksi serial, USB dan *bluetooth* sebagai piranti penyalur data.

Tabung Pitot

Tabung Pitot adalah alat untuk mengukur kecepatan aliran fluida berdasarkan pengukuran tekanan fluida. Pada saat ini Tabung Pitot digunakan secara luas untuk mengukur ketinggian dan *airspeed* pada pesawat terbang.



Gambar 2.7 Tabung Pitot

Sebuah Tabung Pitot memiliki sebuah tabung yang diarahkan langsung ke arah yang berlawanan dengan arah aliran fluida. Tabung ini tidak memiliki *outlet* yang memungkinkan fluida untuk melanjutkan alirannya sehingga tekanan yang diakibatkan fluida yang terperangkap tersebut bisa diukur. Tekanan ini disebut tekanan total. Tekanan total adalah jumlah dari tekanan dinamik dan tekanan statik. Kecepatan diturunkan dari tekanan dinamik. Ketinggian terbang bisa juga dihitung dengan menurunkannya dari nilai tekanan statik. Tekanan statik udara dapat diukur dengan tabung pitot statik.

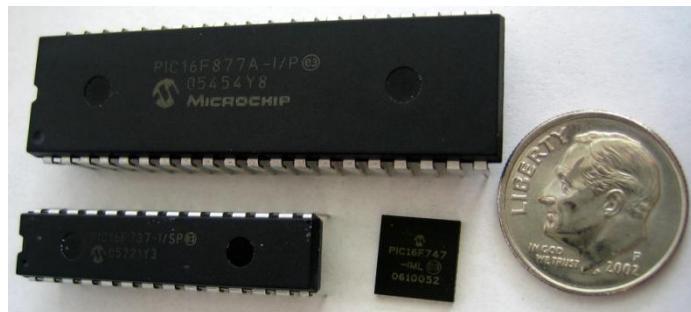
3. Attitude and Heading Reference System (AHRS).

Selain sensor-sensor yang telah disebutkan diatas ada sebuah sensor yang memberikan informasi *heading* dan *attitude* dari suatu wahana. AHRS memiliki *onboard-processor* yang akan mengolah data yang didapat dari *accelerometer*, *gyroscope* dan *magnetometer*. Selain itu AHRS pada umumnya juga memiliki GPS yang sudah terintegrasi. Proses perhitungan terhadap bacaan informasi dari tiap-tiap komponen sensor pada AHRS dilakukan sedemikian rupa sehingga *error* yang terjadi sangat kecil dan tidak bertumpuk[13].

b. Pengolah informasi kendali (mikrokontroller)

Fungsi pengolah informasi kendali adalah mengolah data yang diberikan oleh sensor pada UAV sehingga menghasilkan perintah kendali. Pengolah informasi kendali akan mengolah data dari sensor berdasarkan acuan dan navigasi yang telah ditetapkan dan dikehendaki. Ada UAV yang menggunakan peralatan komputasi dengan kemampuan tinggi sebagai pengolah informasi kendali, contohnya seperti peralatan pengolah informasi kendali pada Predator UAV. Berbeda dengan UAV untuk militer, sistem kendali otomatis pada *low cost* UAV

pada umumnya menggunakan mikrokontroller sebagai pengolah informasi kendali.



Gambar 2.8 Contoh *chip* mikrokontroller

Mikrokontroller adalah sebuah komputer kecil yang disusun pada sebuah sirkuit terintegrasi. Sebuah mikrokontroller memiliki sebuah *processore core*, *memory* dan *input/output peripheral* yang dapat di program. Sebuah mikrokontroller pada umumnya mempunyai sebuah *processors* mulai dari *processor* 4-bit yang sederhana sampai dengan *processor* 64-bit yang canggih.

2.1.2.2. Pengendali di luar pesawat

UAV adalah salah satu jenis sistem tanpa awak. Operator manusia yang mengendalikan suatu sistem tanpa awak memiliki tingkat kewenangan tertentu dalam hal pengendaliannya. Berdasarkan referensi[14] tingkat kewenangan pengendalian sistem tanpa awak ini menentukan mode pengoperasian seperti yang dijabarkan sebagai berikut:

a. Fully Autonomous

Mode pengoperasian dimana suatu sistem tanpa awak menyelesaikan seluruh misi dari awal sampai akhir pelaksanaan misi tanpa interferensi dari manusia.

b. Semi-autonomous

Pada mode pengoperasian ini operator manusia dan/atau system tanpa awak merencanakan dan melaksanakan suatu misi yang memerlukan berbagai tingkat *Human-Robot Interaction (HRI)*.

c. Pengoperasian Jarak Jauh (Teleoperation)

Pada mode pengoperasian ini manusia mengontrol suatu sistem tanpa awak dalam misinya baik secara langsung mengontrol sistem kendali, ataupun dengan mengatur *waypoints* dari misi secara berkelanjutan dengan bantuan video dan/atau peralatan sensor lainnya dengan menggunakan kendali radio jarak jauh ketika sistem tanpa awak tersebut berada dalam status sedang beroperasi.

d. Remote Control

Pada mode pengoperasian ini, operator manusia mengendalikan system tanpa awak tanpa bantuan video dan sensor apapun pada system tanpa awak secara berkelanjutan dari luar system tanpa awak dengan menggunakan kendali radio jarak jauh.

2.2 Studi Autopilot Pembanding

Berikut adalah beberapa contoh autopilot untuk fixed wing UAV yang dapat ditemukan dengan mudah dipasaran.

2.2.1 Ardupilot

Ardupilot adalah *open source autopilot* platform yang murah dan sederhana yang dibuat oleh Chris Anderson dan Jordi Munoz dari DIY Drones. Total biaya yang dibutuhkan untuk membangun sistem Ardupilot adalah sekitar US\$270.

Menurut referensi[15] fitur yang dimiliki Ardupilot adalah sebagai berikut:

- Sensor sikap terbang

Ardupilot menggunakan FMA XY-Z sensor yang merupakan suatu sistem sensor yang menggunakan thermopile.

- Sensor arah dan lintas terbang
Ardupilot menggunakan GPS, dan pressure sensor untuk mendapatkan informasi posisi, *airspeed*, ketinggian dan untuk menurunkan arah heading.
- Jumlah Output
Ardupilot menyediakan *output* berjumlah 4 buah.
- Mikrokontroller
Mikrokontroller yang digunakan Ardupilot memiliki processor ATMega328.

2.2.2 AttoPilot

AttoPilot adalah produk buatan Dean Goedde yang bisa mengubah R/C airplanes konvensional *fixed-wing* menjadi sebuah UAV yang memiliki sistem kendali otomatis. AttoPilot menggunakan microcontroller bermerek Propeller yang cukup mudah dikembangkan untuk kalangan *hobbiest* tetapi mempunyai fitur yang cukup lengkap untuk menjawab permintaan dari kalangan professional.

Fitur yang dimiliki oleh Attopilot adalah sebagai berikut[16]:

- Sensor sikap terbang
Attopilot menggunakan sistem sensor yang menggunakan thermopile.
- Sensor arah dan lintas terbang
GPS dengan update rate 5 Hz, pitot tube, dan *barometric* sensor.
- Jumlah output
Attopilot menyediakan 6 buah output.
- Mikrokontroller
Mikrokontroller yang digunakan Attopilot produksi Propeller yang memiliki teknologi processor 32-bit.
- Sistem penunjang
Sistem Attopilot sudah dilengkapi dengan sistem komunikasi 2 arah, sistem penyimpanan data dan *battery power indicator*.

2.2.3 Kestrel Autopilot System

Kestrel Autopilot System adalah komersial *autonomous system* untuk UAV. Kestrel mengusung dimensi yang kecil dan ringan. Memiliki software virtual kokpit yang bisa mempermudah operasi dan bisa membantu dalam perencanaan misi.

Kestrel Autopilot System mempunyai harga sekitar US\$ 5000[17].

Fitur yang dimiliki oleh Kestrel Autopilot System adalah sebagai berikut:

- Sensor

Kestrel Autopilot System menggunakan pitot tube, GPS dan AHRS sehingga dapat memberikan informasi yang akurat atas airspeed, heading dan sikap terbang UAV.

- Mikrokontroller

Mikrokontroller yang digunakan memiliki teknologi processor dengan kecepatan 29MHz.

- I/O

Kestrel autopilot system menyediakan 6 *bi-directional* I/O, 3 output dan 3 input. Selain itu disediakan juga 4 onboard *servo ports*.

- Sistem Penunjang

Kestrel Autopilot System menggunakan modem maxstream.

2.2.4 Micropilot MP2028g

Micropilot MP2028g adalah salah satu produk Micropilot untuk UAV konvensional *fixed wing*. Sistem kendali otomatis untuk UAV ini menggunakan GPS, altimeter dan sensor *airspeed* sebagai sensor posisi dan lintas terbang dan dapat menggunakan 8-24 servo. Micropilot MP2028g *commercial autopilot system* di pasarkan dengan harga sekitar US\$ 5.500[18].

Fitur yang disediakan oleh Micropilot MP2028g adalah:

- Sensor

Sensor yang digunakan adalah AHRS, GPS airspeed dan altimeter.

- Jumlah output
Autopilot ini dapat menggunakan konfigurasi 8/16/24 servo.
- Sistem Penunjang
Micropilot MP2028g sudah dilengkapi dengan sistem *telemetry*.

2.2.5 OctoPilot

OctoPilot adalah salah satu *open-source* modul autopilot untuk pesawat radio control konvensional. OctoPilot bisa diaktifkan atau dimatikan dengan suatu tombol pada transmitter atau R/C. Ketika OctoPilot diaktifkan, autopilot ini akan menstabilkan pesawat dan menavigasikannya ke suatu lokasi (misalnya titik starting point) dan akan berputar-putar di atas lokasi tersebut. OctoPilot juga bisa mengoperasikan peralatan tambahan, contohnya pengambilan gambar atau menjatuhkan payload di titik waypoint tertentu. Total biaya untuk membuat satu sistem OctoPilot sekitar US\$ 300.

Spesifikasi Octopilot adalah sebagai berikut :

- Sensor sikap terbang
Sensor sikap terbang yang digunakan Octopilot adalah IMU 5-DOF
- Sensor arah dan lintas terbang.
Modul GPS EM406A
- Jumlah Output
Octopilot dapat menggunakan konfigurasi sampai dengan 32 servo.
- Mikrokontroller
Octopilot menggunakan mikrokontroller propstick USB.

2.2.6 Paparazzi

Paparazzi merupakan suatu sistem kendali otomatis untuk UAV yang lengkap karena sudah merupakan suatu kesatuan perangkat keras dan piranti lunak untuk autonomous aircraft. Paparazzi juga sudah dilengkapi dengan *ground control* dan sistem komunikasi 2 arah untuk telemetry dan pengendalian. Autopilot Paparazzi adalah autopilot *open source* yang dapat dibeli dengan kisaran harga US\$ 600.

Spesifikasi Paparazzi adalah sebagai berikut:

- Paparazzi menggunakan GPS sebagai sensor arah dan lintas terbang.
- Sensor sikap terbang yang digunakan adalah sistem sensor yang menggunakan thermopile. Selain itu, pengguna dapat menambah *gyroscope* jika ingin mengaplikasikan paparazzi pada pesawat yang lebih lincah.
- Mikrokontroller yang digunakan adalah mikrokontroller dengan prosessor LPC2148.
- Paparazzi dapat menggunakan 7 servo.

2.2.7 Piccolo Autopilot

Piccolo memberikan suatu sistem Unmanned Autonomous System yang lengkap, mulai dari *core autopilot*, sensor, sistem navigasi, sistem komunikasi *wireless* dan *payload interface* secara lengkap dalam suatu paket.

Perbandingan konfigurasi dari produk diatas dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 2.1

Autopilot			Spesifikasi Perangkat Keras				I/O	Communication
			Microprocessor	Sensors				
	Harga	Open Source		Arah dan Lintas Terbang	Sikap Terbang	Lain-lain		
Ardupilot	US\$380	ya	ATMega328	GPS	Thermopile	Tidakada	4 channel	2 Xbee modules
Attopilot	US\$ 4200	tidak	Parallax Propeller	GPS, pitot, barometric	Thermopile	Tidakada	6 servos and 6 R/C inputs	Telemetry 2 arah
Kestrel Autopilot	US\$ 5000	tidak	29MHz Processor	GPS, pitot	-	AHRS	4 channel	Maxstream modem
Micropilot MP2028g	US\$ 5500	tidak	Tidak ada Informasi	GPS, airspeed, altimeter	-	AHRS	8/16/24 servos	5 Hz update rate telemetry system
Octopilot	US\$ 315	ya	Propstick USB	GPS	5-Degree IMU	Tidak ada	Up to 32 servos	N/A
Paparazzi (tiny 1.3)	US\$ 600	ya	LPC2148 MCU	GPS,	Gyroscope or IMU (optional)	Tidak ada	7 channel	Xbee telemetry system
Piccolo Autopilot	Tidak diketahui	tidak	Tidak diketahui	GPS, Magnetometer	Tidak diketahui	Tidak diketahui	Tidak diketahui	Tidak diketahui

Tabel 2.1 Overview Sistem Kendali Otomatis untuk UAV