

BAB II

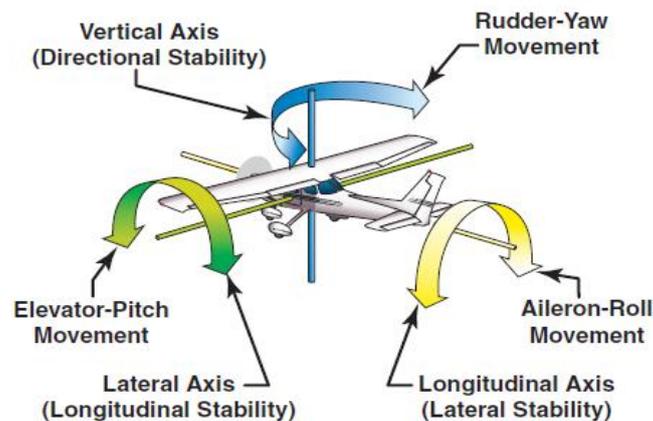
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Flight Control Surface*

Pada dasarnya Flight Control Surface atau Aircraft Flight Control terbagi menjadi dua bagian yaitu *Primary Flight Control* dan *Secondary Flight Control* yang dioperasikan pilot pada kokpit dengan menggunakan *control wheel*, dan berfungsi sebagai kendali yang mengontrol pergerakan pesawat pada sumbu longitudinal, lateral, dan vertikal pada saat terbang bahkan *grounding*.

2.2 *Primary Flight Control*

Primary Flight Control merupakan kendali utama pada pesawat yang menentukan arah terbang pesawat pada sumbu longitudinal, lateral, dan vertikal. *Primary Flight Control* sendiri terbagi menjadi tiga bagian antara lain, Aileron yang bergerak *rolling* atau berputar dan bertumpu pada sumbu longitudinal, Elevator yang bergerak *pitch* atau mengatur naik turunnya pesawat saat terbang dan bertumpu pada sumbu lateral, dan selanjutnya adalah Rudder yang bergerak *yaw* atau berbelok (mengatur arah kanan dan kiri pesawat) dan bertumpu pada sumbu vertikal.



Gambar 2.1 *Axis Motion on Aircraft (GMFA9 A/C Structure Module, 2016)*

Tabel 2.1 Penjelasan *Axis Motion on Aircraft* (GMFA9 A/C Structure Module, 2016)

PRIMARY CONTROL SURFACE	AIRPLANE MOVEMENT	AXES OF ROTATION	TYPE OF STABILITY
Aileron	Roll	Longitudinal	Lateral
Elevator/ Stabilator	Pitch	Lateral	Longitudinal
Rudder	Yaw	Vertical	Directional

2.2.1 Aileron

Aileron adalah salah satu bagian dari *Primary Flight Control* yang terletak pada masing-masing ujung sayap atau *Trailing Edge* dan selalu bergerak berlawanan satu sama lain. Aileron terhubung melalui kabel, *bellcrank*, *pulley* atau *push-pull tube* pada masing-masing sayap dan terhubung pada kontrol kendali kokpit.

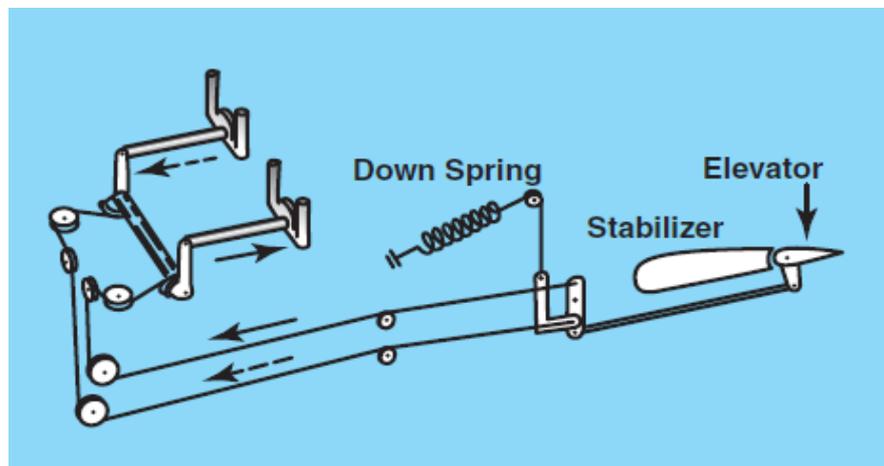
Pada pesawat *Boeing 737 series* aileron dikendalikan menggunakan *control wheel* berbentuk seperti setir pada mobil. Kemudian *control wheel* tersebut dihubungkan ke komponen-komponen penyusun aileron menggunakan kabel/kawat khusus agar aileron bisa dikendalikan. Berbeda dengan pesawat *Airbus Series* yang menggunakan *joystick* sebagai pengendali dari *aileron*, yang sudah tidak menggunakan kabel/kawat manual sebagai penghubungnya, melainkan sistem otomatis atau dikenal dengan istilah *fly by wire*.

Pada saat kontrol kendali atau *control wheel* dibelokkan kearah kanan maka aileron pada sayap sebelah kanan akan berdefleksi ke bawah dan sebaliknya pada sayap kiri akan berdefleksi ke atas. Defleksi ke atas pada aileron kanan akan menyebabkan beda potensial terhadap aileron sebelah kiri sehingga aileron kanan akan menurunkan gaya angkat atau *lift* pada sayap sebelah kanan. Pada defleksi ke bawah pada aileron kiri, akan menghasilkan kenaikan gaya angkat pada sayap sebelah kiri. Perbedaan defleksi ini akan mengakibatkan pesawat bergerak berputar atau *rolling* kesebelah kanan. Begitu juga sebaliknya apabila kontrol kendali dibelokkan kearah berlawanan.

2.2.2 Elevator

Seperti halnya aileron, elevator juga terhubung ke kokpit melalui kolom kontrol seperti kabel dan lain-lain menggunakan gaya mekanikal. Elevator terletak pada bagian ekor pesawat.

Pada posisi *Up-elevator*, kontak elevator dengan udara akan menekan turun bagian ekor pesawat. Secara otomatis, pesawat akan bergerak *pitch up* atau posisi *nose up*. Artinya, pada saat elevator naik, maka pesawat juga akan naik atau *pitch up* begitu juga sebaliknya.

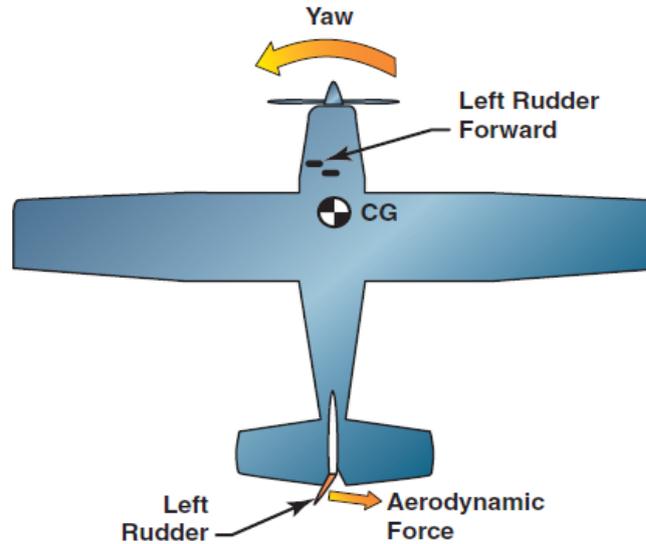


Gambar 2.2 Skematik Elevator (GMF A9 A/C Structure Module, 2016)

2.2.3 Rudder

Rudder mengatur pergerakan pesawat pada sumbu vertikal. Pergerakan ini dinamakan *Yaw*. Seperti halnya *primary flight control* lainnya, rudder juga terhubung pada kokpit secara mekanikal dan untuk mengoperasikannya, rudder memiliki pedal pada kokpit. Rudder terletak pada ekor pesawat dan berada pada posisi antara dua elevator.

Pada saat pedal rudder diarahkan ke sebelah kiri, maka rudder akan bergerak ke sebelah kiri juga. Hal ini menghasilkan pergerakan *airflow* atau laju udara disekitar vertikal stabilizer/rudder terdefleksi dan akan mengakibatkan tail bergerak ke arah kanan dan *nose* bergerak ke arah kiri. Begitu juga sebaliknya.



Gambar 2.3 Rudder motion (GMF A9 A/C Structure Module, 2016)

2.3 Secondary Flight Control

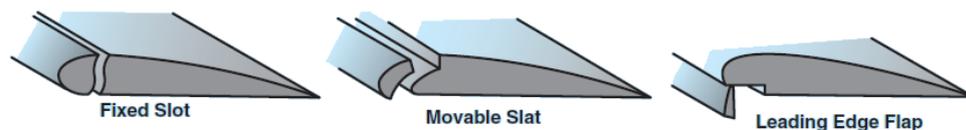
Berikut ini adalah yang termasuk pada *secondary flight control* adalah *Flaps*, *Leading Edge Devices*, *Spoilers*, dan macam-macam tab, antara lain: *Trim tab*, *Servo tab*, *Spring tab*, dan *Balance tab*.

2.3.1 Flaps

Flaps terletak dan terhubung pada masing-masing *Trailing Edge*. Fungsinya untuk menambah gaya angkat/*lift* dan menginduksi *drag* pada setiap *angel of attack* yang diberikan.

2.3.2 Leading Edge Devices

Leading Edge Devices terbagi menjadi tiga yaitu, *Fixed Slots*, *Moveable Slats*, dan *Leading Edge Flap*.



Gambar 2.4 Jenis-jenis *Leading Edge Devices* (GMF A9 A/C Structure Module, 2016)

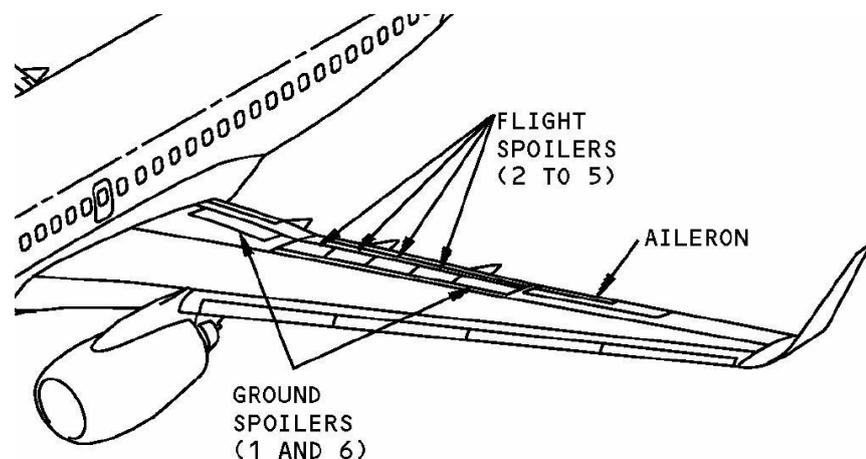
Fixed Slots mengarahkan aliran udara menuju bagian atas sayap dan menghentikan sejenak (*delay*) perpecahan aliran udara pada *angel of attack* tertinggi. *Fixed slots* menghasilkan koefisien ketinggian maksimal pada gaya angkat karena *Stall* dihentikan sementara sampai sayap mencapai *angel of attack* terbesar.

Moveable Slats, pada *angle of attack* rendah, setiap *slat* ditahan rata terhadap *Leading edge* sayap dengan tekanan tinggi yang terbentuk pada ujung depan sayap. Dengan kenaikan *angel of attack*, tekanan tinggi bergerak halus di bagian bawah sayap, membuat *slat* bergerak maju .

Leading edge flap sama halnya dengan *Trailing edge flap* yaitu untuk menambah gaya angkat dan mengurangi gaya *drag* pada sayap. Hanya saja *Leading edge flap* digunakan untuk memaksimalkan fungsi dari *Trailing edge flap*.

2.3.3 Spoilers

Spoiler atau lebih dikenal sebagai *speed brakes* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengganggu aliran fluida (udara) yang mengalir pada bagian sayap pesawat terbang. Spoiler sendiri berbentuk segi empat yang terletak pada bagian atas permukaan sayap yang dapat terbuka ketika dioperasikan. Pada umumnya spoiler dibagi menjadi dua bagian yaitu *Flight spoilers* dan *Ground spoilers*.



Gambar 2.5 *Flight & Ground Spoilers (GMF A8 Aerodynamic Module, 2016)*

Flight spoilers beroperasi ketika pesawat dalam keadaan terbang dan mendarat. Pada saat keadaan terbang, *flight spoiler* berfungsi untuk membantu aileron agar pesawat terbang dapat berbalik arah. Sedangkan dalam keadaan mendarat, *flight spoiler* berfungsi untuk mengurangi gaya *lift* dan menambahkan sedikit gaya *drag*.

Pada *ground spoilers* hanya beroperasi ketika pesawat dalam kondisi berjalan atau *taxiing*. *Spoilers* menghambat laju udara dan memberikan gaya gesek pada sayap pesawat sehingga gaya laju angin pada pesawat dapat dihambat.

2.3.4 Tabs

Tabs terbagi berbagai macam antara lain:

Trim tab, berfungsi mengontrol keseimbangan sebuah pesawat udara sehingga dapat menjaga dan mempertahankan posisi terbang dalam kondisi lurus dan mendarat tanpa tekanan pada *column control*, kontrol kendali atau pedal kendali. Sebagian besar *trim tab* yang dipasang pada pesawat udara dioperasikan secara mekanis dari kokpit melalui sistem kabel. Namun, ada pula yang dioperasikan dengan menggunakan aktuator listrik. *Trim tab* dipasang pada aileron, elevator, dan rudder.

Servo tab, sering disebut *flight tab*, digunakan terutama untuk bidang kendali yang besar/lebar untuk membantu pergerakan bidang kendali dan menahannya pada posisi yang diinginkan. Hanya *servo tab* yang bergerak merespons terhadap pergerakan kendali kokpit, di mana tanduk dari *servo tab* bersifat bebas terhadap pivot sumbu engsel *primary flight control*. Tekanan aliran udara pada *servo tab* akan menggerakkan *primary flight control* untuk mengurangi tenaga yang dibutuhkan pilot untuk menggerakkan *flight control* tersebut.

Balance tab, yang dirancang sedemikian rupa sehingga saat *primary flight control* bergerak, *tab* bergerak dalam arah yang berlawanan, sehingga gaya aerodinamis yang bekerja pada *tab* membantu pergerakan bidang

kendali utama dengan menyeimbangkan antara *primary flight control* dan *secondary flight control*.

Spring tab, bekerja seperti aktuator hidrolik, membantu pergerakan *primary flight control*. Konstruksinya terdiri dari susunan *spring* dan rangkaian mekanik lainnya. Dalam beberapa pesawat udara, *spring tab* dipasang pada bagian belakang masing-masing kendali belok dan digerakkan oleh gaya *spring push pull rod* yang dirangkaikan ke kaitan kendali kemudi belok, sehingga susunan *spring* ini akan memberikan sensasi dimana pilot seakan-akan mengendalikan sayap pesawat menggunakan *control wheel* dan mendapatkan *feel* yang dari pergerakan *spring* tersebut.

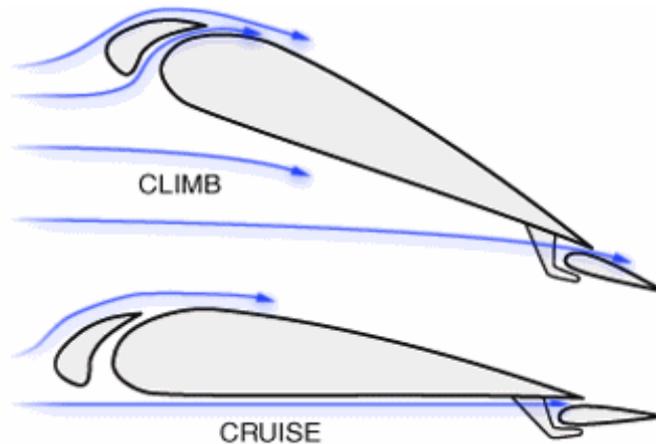
2.3.5 *Slats*



Gambar 2.6 *Aircraft Slat (GMF Module Structure, 2016)*

Slats adalah bagian dari *leading edge devices*, merupakan permukaan aerodinamis pada bagian depan *fixed-wing* pesawat (sayap tetap), ketika digunakan akan membantu *wing* untuk beroperasi terhadap *angle of attack* yang lebih tinggi. Sebuah koefisien *lift* yang dihasilkan sebagai hasil dari *angle of attack* dan kecepatan, sehingga dengan pengoperasian *slat* pesawat dapat terbang pada kecepatan yang lebih

lambat, atau melakukan *take-off* dan *landing* pada landasan yang pendek. *Slat* biasanya digunakan ketika akan melakukan *landing* atau manuver ketika pesawat dekat dengan *stall*, tetapi biasanya dalam penerbangan normal/*common flight slat* digunakan untuk meminimalisir hambatan.



Gambar 2.7 *Streamline on slat* (GMF Learning Service, 2017)

Adapun jenis-jenis *slat* adalah sebagai berikut:

- *Automatic Slat*: *slat* terletak rata dengan *leading edge* sayap hingga mengurangi gaya *aerodynamic* memungkinkan untuk untuk memperpanjang dengan cara aerodinamis bila diperlukan.
- *Fixed-slat*: *Slat* jenis ini dipasang secara permanen (tetap) diperpanjang. Jenis ini digunakan untuk pesawat kecepatan rendah (kecil). Jenis *slat* ini biasanya juga disebut sebagai *Slot*.
- *Powered slat*: *Slat* ini dapat digerakkan atau diperpanjang oleh pilot pada kokpit. *Slat* jenis inilah yang sering digunakan oleh pesawat-pesawat komersial (*airliners*).

2.4 Arduino

2.4.1 Pengertian Arduino

Arduino adalah rangkaian elektronik *open source* dibuat oleh perusahaan Atmel dan didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jeni AVR. Mikrokontroler tersebut adalah jenis *integrated circuit* (IC) yang bisa diprogram melalui komputer. Tujuan dari memasang program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca masukan (*input*), memproses masukan tersebut dan kemudian menghasilkan keluaran (*output*) sesuai keinginan. Jadi pada dasarnya, mikrokontroler adalah '*main controller*' yang mengendalikan *input*, proses hingga *output* sebuah rangkaian elektronik.

Mikrokontroler adalah suatu *integrated circuit* yang bekerja untuk aplikasi pengendali. Fungsi pengendali mikrokontroler memiliki beberapa bagian seperti *Central Processing Unit* (CPU), *Read Only Memory* (ROM), *Random Access Memory* (RAM), dan Unit I/O. Arduino merupakan pengendali mikrokontroler *single-board* yang bersifat *opensource*, turunan dari *wiring platform*, dan dirancang untuk mempermudah pengguna elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware*-nya memiliki prosesor AtmelAVR dan *software*-nya memiliki bahasa pemrograman sendiri yang memiliki kemiripan *Syntax* dengan Bahasa pemrograman C.

Arduino menggunakan keluarga mikrokontroler ATMega yang dirilis oleh Atmel sebagai basis, namun ada individe/perusahaan yang membuat *clone* arduino dengan menggunakan mikrokontroler lain dan tetap kompatibel dengan arduino pada level *hardware*. Untuk fleksibilitas, program dimasukkan melalui *bootloader* meskipun ada opsi untuk *bypass bootloader* dan menggunakan pengunduh untuk memprogram mikrokontroler secara langsung melalui port ISP.

Fungsi Arduino tergantung kepada pembuat program itu sendiri. Arduino dapat digunakan untuk mengontrol LED, hingga digunakan untuk mengontrol sebuah helikopter. Berikut contoh dari penggunaan arduino

yang sudah ada seperti MP3 player, pengontrol motor, penggerak servo, pengukur jarak, monitor kelembapan tanah, pengontrol suhu, GPS logger, stasiun cuaca, monitor *fuel* dan lainnya.

2.4.2 Kelebihan Arduino

- Arduino dilengkapi dengan port USB, sehingga pengguna perangkat laptop yang tidak memiliki port serial/RS323 bisa menggunakannya.
- Arduino tidak memerlukan *chip programmer* karena di dalamnya sudah dilengkapi dengan *bootloader* yang akan menangani upload program dari komputer
- Bahasa pemrograman Arduino lebih mudah karena software arduino sudah dilengkapi dengan kumpulan *library* yang cukup lengkap.
- Arduino memiliki modul siap pakai/*shield* yang bisa dipasang pada *board* arduino.

2.4.3 Bahasa Pemrograman Arduino

Bahasa pemrograman arduino adalah bahasa C. Namun bahasa ini sudah dipermudah menggunakan berbagai fungsi yang lebih sederhana sehingga untuk para pemula dapat mempelajarinya dengan mudah. Untuk membuat program Arduino dan mengupload ke dalam *board* arduino, anda membutuhkan *software* Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang bisa didownload di <http://arduino.cc/en/Main/Software>

2.5 Arduino UNO

Arduino UNO berbeda dari semua *board* sebelumnya. Arduino UNO tidak menggunakan *chip driver* FTDI USB-to-serial. Sebaliknya fitur-fitur Atmega16U2 (ATMega8U2 sampai ke versi R2) diprogram sebagai sebuah pengubah USB ke serial. Revisi kedua dari *board* Arduino UNO mempunyai sebuah resistor yang menarik garis 8U2 HWB ke ground, yang membuatnya lebih mudah untuk diletakkan ke dalam DFU mode.

“UNO” berarti satu dalam bahasa Italia dan dinamai untuk menandakan keluaran (produk) Arduino 1.0 selanjutnya. Arduino UNO dan versi 1.0 akan menjadi referensi untuk versi-versi Arduino selanjutnya. Arduino UNO merupakan seri terakhir dari *board* Arduino USB dan model referensi .

2.5.1 Pin Arduino UNO

Arduino UNO memiliki 20 pin I/O, yang terdiri dari 6 *input* analog dan 14 pin digital *input/output*. 6 pin analog difungsikan sebagai *output* digital dengan tambahan 14 pin tersedia. Pengubahan pin analog menjadi digital dengan cara mengubah konfigurasi pin pada program. Pada *board* dapat terlihat pin digital diberi keterangan 0-13, untuk menggunakan pin analog menjadi *output* digital. Pin analog pada board 0-5 diubah menjadi pin 14-19, dengan kata lain pin analog 0-5 berfungsi juga sebagai pin *output* digital 14-16.

2.5.2 Input dan Output Arduino UNO

Setiap 14 pin digital yang terdapat pada Arduino dapat digunakan sebagai *input* dan *output*, menggunakan fungsi *pinMode*, *digitalWrite*, dan *digitalRead*. *Input/output* diopeasikan pada tegangan 5V. Setiap pin dapat menghasilkan atau menerima maksimum 40mA dan memiliki *internal pull-up resistor* (*disconnected* oleh *default*) 20-50K ohm.

2.5.3 Fungsi Pin Arduino

- a) *Serial* : 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) *TTL Data Serial*. Pin ini terhubung pada pin yang koresponding dari USB ke *TTL Chip Serial*.
- b) *Interrupt Eksternal*: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk men-trigger sebuah *interrupt* pada *low-value*, *rising* atau *falling-edge*.
- c) *PWM* : 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Mendukung *8-bit* keluaran *PWM* dengan fungsi *AnalogWrite*.
- d) *SPI* : 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi *SPI*, yang mana masih mendukung *Hardware*, yang tidak termasuk pada bahasa Arduino.
- e) *LED* : 13. Merupakan indikator yang dibuat untuk koneksi *LED* ke pin digital. Ketika pin bernilai *High*, maka *LED* akan hidup, dan akan mati ketika bernilai *Low*.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino UNO

Mikrokontroler	ATmega328P (<i>DataSheet</i>)
Tegangan Pengoperasian	5V
Tegangan Input(Rekomendasi)	7-12V
Batas Tegangan Input	6-20V
Pin I/O Digital	14 (6 diantaranya dapat di gunakan sebagai output PWM)
Pin Digital PWM	6
Pin Input Analog	6
Arus DC Tiap Pin I/O	20 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32KB(ATmega328P) Sekitar 0.5 KB digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Panjang	68.6 mm
Lebar	53.4 mm
Berat	25 g

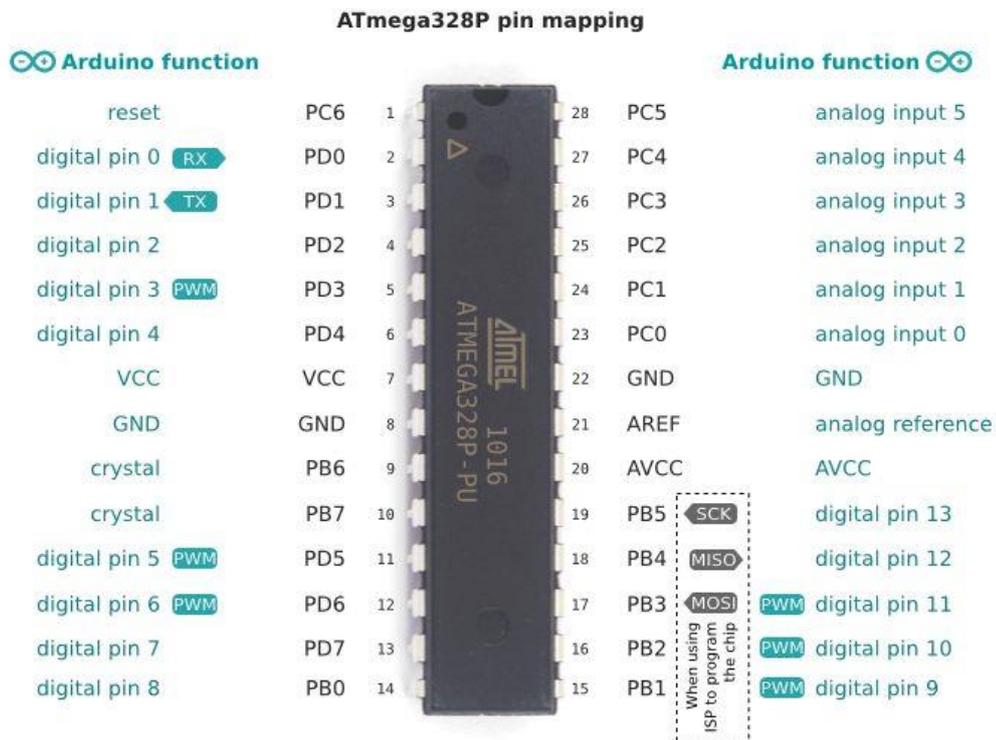


Gambar 2.8 Konfigurasi Pin Arduino UNO (Miguel Vidal, 2016)

2.5.4 Mikrokontroler ATmega 328P

Mikrokontroler adalah sebuah komputer versi kecil di dalam sebuah *Integrated Circuit* (IC) yang berisi CPU, memori, timer, saluran komunikasi serial dan parallel, Port *input/output*, ADC. Mikrokontroler digunakan untuk sebuah tugas dan menjalankan suatu program. Saat ini keluarga mikronkontroler yang tersedia di berbagai pasar yaitu Intel 8048 dan 8051 (MCS51), Motorola 68HC11, Microchip PIC, Hitachi H8, dan Atmel AVR.

ATmega 328P merupakan mikrokontroler keluaran Atmel yang merupakan anggota dari AVR 32-bit. Mikrokontroler ini memiliki kapasitas flash (memori program) sebesar 32 Kb (32.768 bytes), memori (static RAM) 2 Kb (2.048 bytes), dan EEPROM (*non-volatile memory*) sebesar 1024 bytes. Kecepatan *clock* yang dapat dicapai adalah 16 MHz.



Gambar 2.9 Bentuk fisik ATmega 328P (Haryanto Rusdi, 2014)

2.5.5 Power Arduino

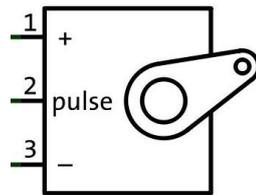
Arduino UNO dapat disuplai melalui catu daya *USB* tambahan dengan pilihan *power* secara otomatis tanpa saklar. Kabel eksternal (*non-USB*) menggunakan *adaptor* AC ke DC atau baterai dengan konektor *plug* ukuran 2,1mm polaritas positif di tengah *jack power* pada *board*. Jika menggunakan baterai disematkan pada pin GND dan Vin di bagian *power connector*.

Board Arduino UNO dapat disuplai dengan tegangan kerja antara 6V-20V, apabila catu daya di bawah tegangan standar 5V *board* tegangan tidak akan stabil. Jika dipaksakan ke tegangan regulator 12V *board* Arduino akan mengalami *overheat* yang akan berujung kerusakan pada *board* Arduino tersebut. Tegangan yang direkomendasikan adalah 7V-12V.

2.6 Motor Servo

2.6.1 Deskripsi Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor, serangkaian *gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.



Gambar 2.10 Motor Servo (Sumozade, 2016)

Keunggulan dari penggunaan motor servo adalah :

- Tidak bergetar dan tidak ber-resonansi saat beroperasi.
- Daya yang dihasilkan sebanding dengan ukuran dan berat motor.
- Penggunaan arus listrik sebanding dengan beban yang diberikan.
- Resolusi dan akurasi dapat diubah dengan hanya mengganti *encoder* yang dipakai.
- Tidak berisik saat beroperasi dengan kecepatan tinggi.

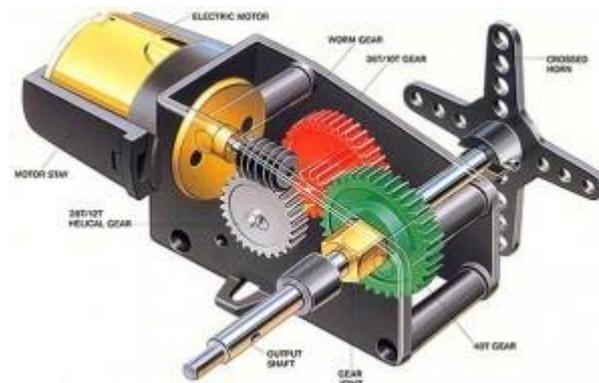
Keunggulan dari penggunaan motor servo adalah :

- Tidak bergetar dan tidak ber-resonansi saat beroperasi.
- Daya yang dihasilkan sebanding dengan ukuran dan berat motor.
- Penggunaan arus listrik sebanding dengan beban yang diberikan.
- Resolusi dan akurasi dapat diubah dengan hanya mengganti *encoder* yang dipakai.
- Tidak berisik saat beroperasi dengan kecepatan tinggi.
-

2.6.2 Aplikasi Motor Servo

Motor servo dapat dimanfaatkan pada pembuatan robot, salah satunya sebagai penggerak kaki robot. Motor servo dipilih sebagai penggerak pada kaki robot karena motor servo memiliki tenaga atau torsi yang besar, sehingga dapat menggerakkan kaki robot dengan beban yang cukup berat. Pada umumnya motor servo yang digunakan sebagai penggerak pada robot adalah motor servo 180°.

2.6.3 Komponen Penyusun Motor Servo

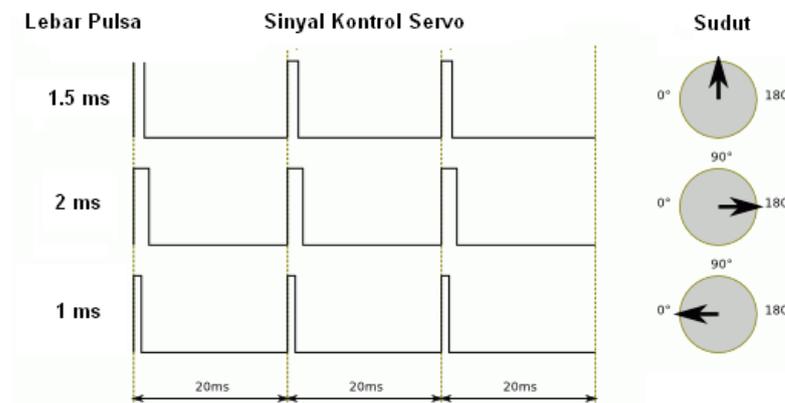


Gambar 2.11 Konstruksi Motor Servo(Dave, 2019)

Motor servo pada dasarnya dibuat menggunakan motor DC yang dilengkapi dengan *controller* dan sensor posisi sehingga dapat memiliki gerakan 0°, 90°, 180° atau 360°. Berikut adalah komponen *internal* sebuah motor servo 180°. Tiap komponen pada motor servo diatas masing-masing memiliki fungsi sebagai *controller*, *driver*, *sensor*, *gearbox* dan aktuator. Pada gambar diatas terlihat beberapa bagian komponen motor servo. Motor pada sebuah motor servo adalah motor DC yang dikendalikan oleh bagian *controller*, kemudian komponen yang berfungsi sebagai sensor adalah potensiometer yang terhubung pada sistem *gearbox* pada motor servo.

2.6.4 Prinsip Kerja Motor Servo

Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa *PWM (Pulse Wide Modulation)* melalui kabel control. Besarnya sumber tegangan tergantung dari spesifikasi motor servo yang digunakan. Lebar pulsa sinyal *control* yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengirimkan pulsa kontrol dengan frekuensi 50 Hz dengan periode 20ms dan *duty cycle* yang berbeda. Dimana untuk menggerakkan motor servo sebesar 90° diperlukan pulsa dengan *ton duty cycle* pulsa positif 1,5ms dan untuk bergerak sebesar 180° diperlukan lebar pulsa 2ms.



Gambar 2.13 a) Pulsa Kendali Motor Servo Sudut 90°
b) Pulsa Kendali Motor Servo Sudut 180°
c) Pulsa Kendali Motor Servo Sudut 0°
(Saripudin, 2011)

2.7 Terowongan Angin

Terowongan angin (*Wind Tunnel*) adalah alat penghasil angin buatan yang digunakan untuk mengetahui aliran udara di sekitar benda yang ingin diuji serta untuk mengetahui gaya-gaya yang ditimbulkan. Terowongan angin (*Wind Tunnel*) merupakan salah satu dari beberapa cara untuk mengetahui reaksi udara pada suatu benda yang bergerak di udara (disamping perhitungan teoritis). Di dalam terowongan angin, sayap pesawat terbang tetap pada tempatnya, hanya udara yang bergerak, sedangkan pada keadaan yang sebenarnya pesawat terbang bergerak melewati udara yang diam. Jadi, terowongan angin ini mensimulasikan keadaan sebenarnya suatu sayap pesawat untuk menganalisis kinerja Airfoil dari sayap pesawat.

Jenis terowongan angin ada 2 yaitu sistem terbuka (*open jet type*) dan sistem tertutup (*close jet type*). Pada kedua terowongan angin ini aliran udara didapat dari putaran kipas angin (*fan*) yang digerakkan oleh motor listrik.

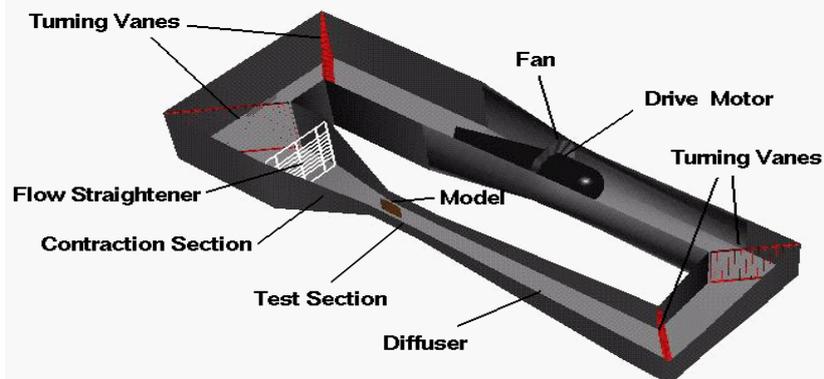
Perbedaan prinsip antara keduanya terletak pada ruang percobaannya (*experimental chamber*). Pada terowongan angin sistem terbuka, penampang ruang percobaan jauh lebih lebar dibandingkan dengan kolektornya, sedang pada sistem tertutup ruang percobaan merupakan suatu ruangan yang sama sekali tertutup. (Sugiarto, 2008)

Pada sistem tertutup, model yang akan dites diletakkan di dalam ruang yang tertutup dan semua alat-alat ukur (*instrument*) serta pengendaliannya dipasang di luarnya.



Wind Tunnel Parts

Glenn
Research
Center

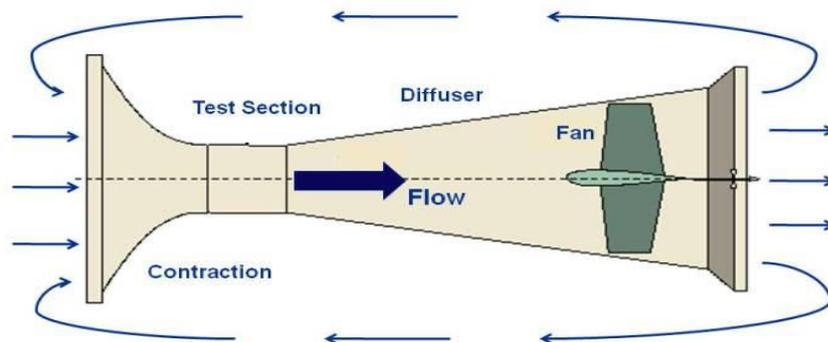


Gambar 2.13 *Close jet type Wind Tunnel* (Nancy Hall, 2015)

National Aeronautics and Space Administration



Open Return Wind Tunnel



www.nasa.gov

Gambar 2.14 *Open jet type Wind Tunnel* (Nancy Hall, 2015)

Baik pada sistem terbuka maupun tertutup dilengkapi dengan *honeycomb* dengan maksud agar aliran udara menjadi sejajar. Agar aliran lebih stabil, biasanya terowongan angin dilengkapi juga dengan dinding berlubang-lubang (*perforated wall*) yang memungkinkan udara yang telah keluar lewat kipas angin bisa kembali lagi kedepan (*inlet*) lagi.

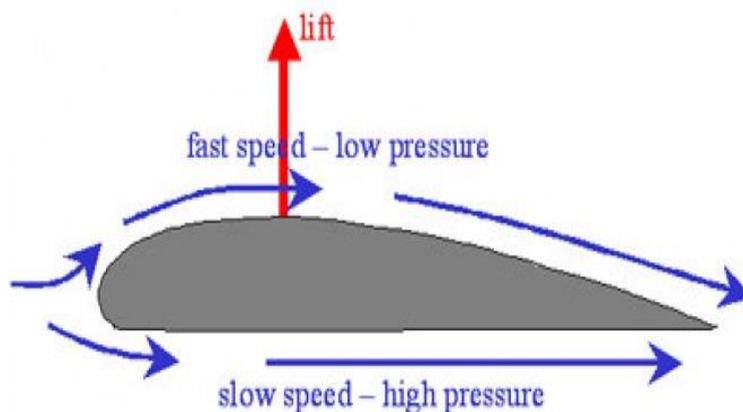
Untuk menambah efisiensi, baik pada terowongan angin terbuka maupun tertutup, udara yang telah keluar dari kipas angin seluruhnya dialirkan lagi ke

saluran masuk (inlet) melalui saluran khusus. Yang penulis pakai dalam analisis adalah *Open jet type Wind Tunnel*, karena proses pembuatannya mudah, murah, dan lebih ringan. (Sugiarto, 2008)

2.8 Lift (Gaya Angkat) dan Drag (Gaya Hambat)

2.8.1 Lift (Gaya Angkat)

Lift merupakan gaya yang dapat membuat pesawat terangkat ke udara. Dengan memanfaatkan *Drag* yang dihasilkan oleh sayap sehingga udara mengalir kebagian bawah sayap akan menghasilkan gaya angkat dan menerbangkan pesawat tersebut. Dengan bentuk Airfoil sayap yang telah dirancang sedemikian rupa membuat kecepatan udara diatas sayap lebih tinggi daripada kecepatan udara dibagian bawah sayap sehingga tekanan udara di bagian atas sayap lebih rendah dibandingkan dengan dibagian bawah sayap seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.15, hal tersebut mengakibatkan udara akan mengangkat pesawat keatas, sesuai dengan hukum bernoulli yang memang menjadi dasar acuan gaya angkat pesawat.

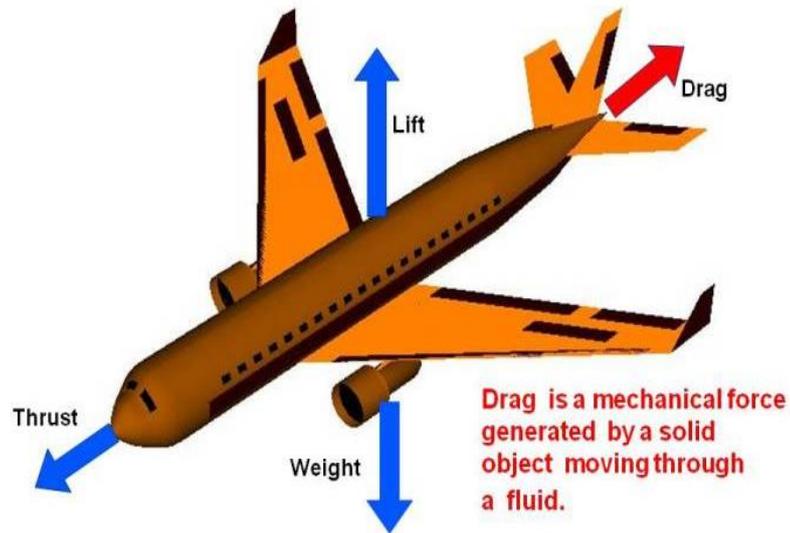


Gambar 2.15 Lift pada Airfoil

2.8.2 Drag (Gaya Hambat)

Gaya yang bekerja berlawanan dengan *lift* atau menghambat gerakan pesawat dengan menghasilkan gaya gesek sehingga menahan laju pesawat disebut *Drag*. Hal yang mempengaruhi *Drag* pada pesawat adalah *fuselage* dari pesawat itu sendiri, tetapi *Drag* juga dapat diperoleh dari *secondary flight control* seperti *spoiler*, *flap*, dan *slat*. *Drag* dinilai sangat merugikan karena dapat menghambat laju pesawat sehingga konsumsi bahan bakar menjadi tinggi, tetapi juga dapat sangat bermanfaat apabila pesawat sedang

melakukan proses *landing* dan *brake*. untuk meminimalisir gaya ini, pesawat dirancang agar jalannya udara tidak terlalu terhambat dengan *body* pesawat itu sendiri,



Gambar 2.16 Drag pada pesawat

2.8.3 Rumus *Lift* dan *Drag*

Koefisien *lift* adalah angka yang digunakan oleh para aerodinamika untuk memodelkan semua dependensi bentuk, kemiringan, dan beberapa kondisi aliran pada pengangkatan yang rumit. Koefisien *lift* (C_L) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C_L = \frac{2L}{\rho V^2 S} = \dots\dots\dots(1)$$

C_L = Koefisien *Lift*

L = Gaya Angkat

ρ = Kerapatan Udara (Density)

V = Kecepatan Udara

S = Sudut Serang (Stall)

Koefisien *drag* adalah angka yang digunakan oleh para aerodinamik untuk memodelkan semua dependensi bentuk, kemiringan, dan kondisi aliran yang rumit pada hambatan pesawat. Koefisien *drag* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C_d = \frac{2D}{\rho V^2 S} = \dots\dots\dots(2)$$

C_d = Koefisien *Drag*

D = Gaya Hambat

ρ = Kerapatan Udara (Density)

V = Kecepatan Udara

S = Sudut Serang (Stall)

Besarnya koefisien *lift* dan koefisien *drag* ditentukan oleh jenis *airfoil* dan sudut serangnya.