

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Atmosfer

Atmosfer merupakan lapisan udara yang menyelimuti bumi dan mengandung beberapa unsur gas diantaranya 78% gas nitrogen, 21% oksigen, 0.9% argon, dan 0.03% karbondioksida. Atmosfer berfungsi untuk melindungi bumi dari serangan luar dan melindungi unsur gas yang ada. Selain itu, atmosfer juga berfungsi mengatur sinar matahari yang masuk ke bumi dengan menyerap dan kemudian memantulkan panas yang dihasilkan oleh matahari. Panas matahari yang dipantulkan oleh atmosfer sekitar 34% kemudian akan diserap oleh awan dan atmosfer sekitar 19%, dan sisanya mencapai permukaan bumi.

2.1.1 Karakteristik Atmosfer

Setiap lapisan atmosfer memiliki beberapa karakteristik yang berbeda. Karakteristik atmosfer terdiri dari beberapa parameter, yaitu:

1. Tekanan Udara

Tekanan udara merupakan suatu tenaga yang bekerja menggerakkan massa udara pada setiap satuan luas. Atmosfer memiliki kontak dengan permukaan bumi yaitu dengan gaya gravitasinya yang menghasilkan tekanan didalam atmosfer. Tekanan atmosfer akan menurun dengan bertambahnya ketinggian. Hal ini diakibatkan oleh menurunnya efek gravitasi.

2. Suhu

Suhu udara merupakan besarnya derajat panas dan dingin udara pada suatu atmosfer. Suhu pada atmosfer akan berkurang 6 sampai 7°C pada setiap kenaikan 1 kilometer. Satuan yang biasa digunakan untuk pengukuran suhu ini adalah skala Fahrenheit (F) dan Celcius (C). Kedua satuan tersebut tidak

berdasarkan kepada absolute zero dan tidak dapat digunakan pada pengukuran, maka digunakan suhu absolute. Absolute zero pada Fahrenheit adalah -460 dan Celcius -273o.

3. Density

Kerapatan udara merupakan karakteristik penting udara dalam ilmu mekanika terbang yang didefinisikan massa per satuan volume.

4. Viskositas

Viskositas adalah ukuran kekentalan suatu fluida yang menyatakan gesekan dalam fluida. Suatu fluida akan sulit mengalir dan bergerak apabila memiliki nilai viskositas yang besar, dan begitupula sebaliknya.

2.1.2 International Standard Atmosphere (ISA)

Standard atmosfer adalah representasi dari atmosfer yang berdasarkan kondisi rata-rata pada 45 lintang utara. Semua atmosfer didasarkan pada nilai rata-rata dari tekanan, suhu, dan percepatan gravitasi dipermukaan laut serta pada nilai rata-rata variasi suhu dengan ketinggian.

Tabel 2.1 Sea Level Condition ISA

Condition	Amount
Pressure	$p_0 = 101\,325 \text{ N/m}^2 = 1013.25 \text{ hPa}$
Density	$\rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$
Temperature	$T_0 = 288.15^\circ\text{K} (15^\circ\text{C})$
Speed of sound	$a_0 = 340.294 \text{ m/sec}$
Acceleration of gravity	$g_0 = 9.80665 \text{ m/sec}^2$

1. Temperatur Udara

$$T = T_0 - 6.5 \frac{h(m)}{1000} \quad (1)$$

2. Tekanan Udara

$$p = p_0 \left(1 - 0.0065 \frac{h}{T_0} \right)^{5.2561} \quad (2)$$

3. Densitas Udara

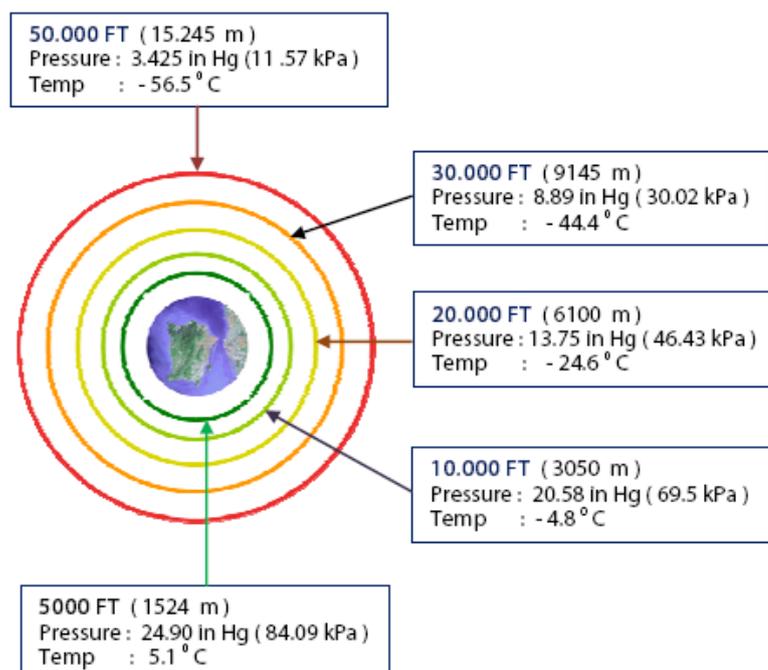
$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (3)$$

4. Kecepatan Suara

$$a = \gamma RT \quad (4)$$

2.1.3 Tekanan Atmosfer Bumi di Berbagai Ketinggian

Temperatur Udara Dalam kondisi Standar. *International Civil Aviation Organisation* (ICAO) Temperatur berkurang sekitar $1,98^{\circ}\text{C}$ untuk setiap peningkatan 1000 ft (304,88 m).



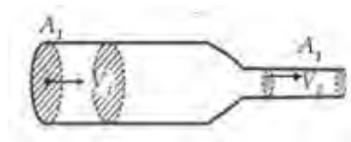
Gambar 2.1 Tekanan Atmosfer Bumi di Berbagai Ketinggian

(GMF:BCT-0012/A20, 2018)

2.2 Teori Dasar Aerodinamika

2.2.1 Persamaan Kontinuitas

Teorema aerodinamika diformulasikan berdasarkan aliran udara pada prinsip-prinsip dasar fisika yaitu “massa tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan”. Untuk dapat menggunakan prinsip aliran udara ini, dengan melihat pada Gambar 2.2. Aliran udara melalui steam tube dimana luas penampang nya berubah dari titik 1 ke titik 2. Massa yang bergerak masuk dari titik 1 sama dengan massa yang bergerak melewati titik 2.



Gambar 2.2 Steam tube pada konversi massa (Imaniar, 2011)

A_1 adalah luas penampang pada titik 1 dan A_2 merupakan luas penampang titik 2. Sedangkan V_1 adalah kecepatan pada titik 1 dan V_2 adalah kecepatan pada titik 2. Maka laju massanya adalah konstan dimana laju massa pada posisi 1 sama dengan laju massa titik 2. Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

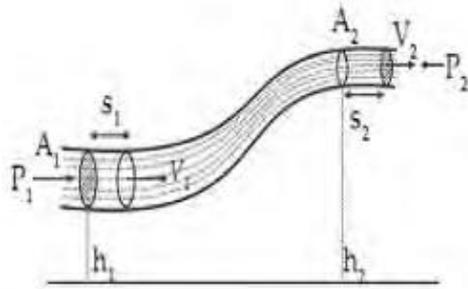
$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (5)$$

Aliran udara yang digunakan pada alat ini yaitu aliran udara kompresibel dimana ρ adalah konstan, sehingga persamaan diatas menjadi

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (6)$$

2.2.2 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli merupakan salah satu persamaan yang paling mendasar dalam mekanika fluida. Prinsip yang digunakan yaitu hukum konversi energi dengan menjumlahkan energi potensial (tekanan statik) dan energi kinetik (tekanan dinamik) sama dengan tekanan konstan.



Gambar 2.3 Hukum Bernoulli (Imaniar, 2011)

Kerja pada gambar diatas terjadi pada posisi 1 dan 2, maka dituliskan sebagai berikut:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}V_2^2 \quad (7)$$

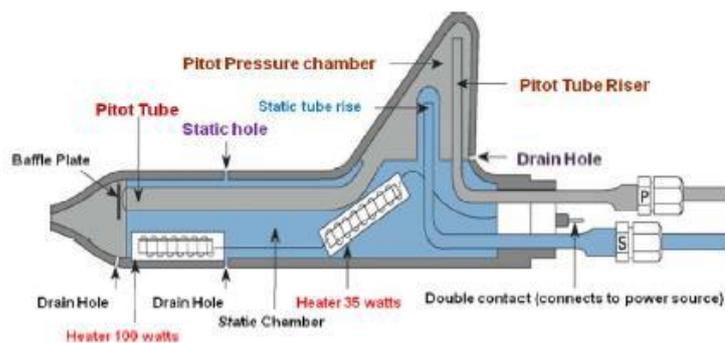
$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 = P_o = \text{Konstan sepanjang streamline}$$

$$P + q = P_o \quad (8)$$

Dimana p adalah tekanan statik dan q adalah tekanan dinamik, dan P_o adalah tekanan total. Persamaan ini dikenal dengan persamaan Bernoulli.

2.3 Tabung Pitot

Tabung pitot merupakan salah satu instrumen aerodinamika. Instrumen ini terdiri dari tabung terbuka yang letaknya searah dengan datangnya aliran udara.



Gambar 2.4 Sketsa Tabung Pitot (GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Udara akan bergerak memasuki tabung. Setelah beberapa waktu, tidak ada pergerakan dalam tabung karena udara telah memenuhi didalam tabung. udara diam didalam sebuah tabung dan udara freestream bergerak terus menuju titik A.

Titik A disebut titik stagnasi karena kecepatannya pada titik A sama dengan nol. Tekanan pada titik A adalah tekanan total, tekanan ini disalurkan ke tabung pitot kemudian ke Pressure gauge.

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 = P_0 \quad (9)$$

Dalam persamaan di atas, tekanan dinamik q didefinisikan

$$q = \frac{1}{2}\rho V^2 \quad (10)$$

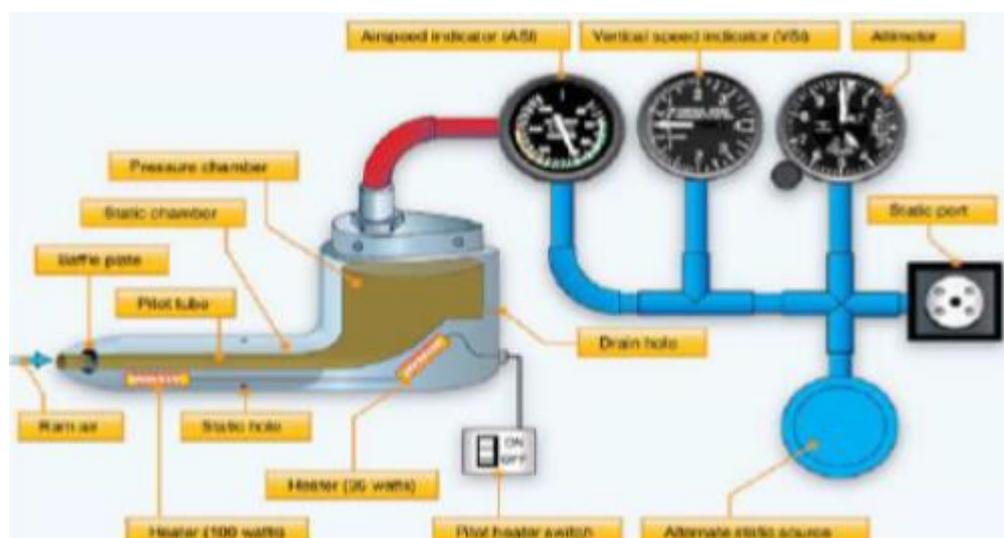
Persamaan di atas disebut dengan tekanan dinamik yang berlaku untuk semua keadaan aliran yaitu kompresibel dan inkompresibel.

2.4 Instrumen Pitot Statik

Altimeter, *vertical speed*, dan *airspeed indicator* merupakan bagian dari instrumen data udara. Semua instrumen ini menggunakan tabung pitot sebagai elemen penginderaan untuk mengukur variabel udara.

2.4.1 Sistem Pitot Statik

Beberapa instrumen penerbangan yang paling penting mendapatkan indikasinya dari mengukur tekanan udara. Mengumpulkan dan mendistribusikan berbagai tekanan udara untuk instrumentasi penerbangan adalah fungsi dari sistem pitot-static.



Gambar 2.5 Sistem Pitot Statik (GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Bagian belakang dari tabung pitot dilengkapi dengan lubang kecil di permukaan atas dan bawah yang dirancang untuk mengumpulkan tekanan udara yang berada pada tekanan atmosfer dalam kondisi statis atau diam.

Bagian statis juga mengandung riser tube dan udara mengalir ke pitot melalui tube dan terhubung ke altimeter, indikator kecepatan udara, dan indikator kecepatan vertikal.

Banyak ujung input dari tabung pitot-statis mengandung elemen pemanas untuk mencegah icing selama penerbangan. Pilot dapat mengirimkan arus listrik ke elemen dengan saklar di kokpit ketika kondisi pembentukan es terjadi atau terindikasi.

Tabung pitot-statis dipasang di bagian luar pesawat pada titik di mana udara paling tidak cenderung bergejolak. Dan menunjuk ke arah depan yang sejajar dengan garis penerbangan pesawat.

Sebagian besar pesawat dilengkapi dengan sumber tekanan udara statis alternatif yang disediakan untuk penggunaan darurat. Pilot dapat memilih alternatif dengan sakelar di kokpit seandainya instrumen penerbangan tidak memberikan indikasi yang akurat. Lokasi dapat bervariasi. Beberapa ada di hidung badan pesawat dan yang lain mungkin terletak di sayap. Beberapa bahkan dapat ditemukan di empennage.

Terdapat berbagai desain yang ada tetapi fungsinya tetap sama, untuk menangkap dampak tekanan udara dan tekanan udara statis dan mengarahkannya ke instrumen yang tepat,

- Biasanya berpasangan, satu di kedua sisi pesawat
- Lokasi ganda ini mencegah pergerakan lateral Pesawat agar tidak memberikan indikasi tekanan Pitot atau Static yang salah



Gambar 2.6 Lokasi Pitot Statik (GMF:BCT-0012/A20, 2018)

2.4.2 Airspeed Indikator / Indikator Kecepatan Udara

Indikator kecepatan udara adalah instrumen penerbangan utama lain yang juga merupakan pengukur tekanan diferensial. Tekanan udara ram dari tabung pitot pesawat diarahkan ke diafragma dalam kasing analog instrumen kecepatan udara. Tekanan udara statis dari ventilasi statis pesawat diarahkan ke kasing diafragma. Karena kecepatan pesawat bervariasi, tekanan udara ram yang bervariasi memperluas atau berkontraksi dengan diafragma. Keterkaitan yang melekat pada diafragma menyebabkan jatum penunjuk bergerak di atas permukaan instrumen, yang dikalibrasi dalam knots atau mil per jam.

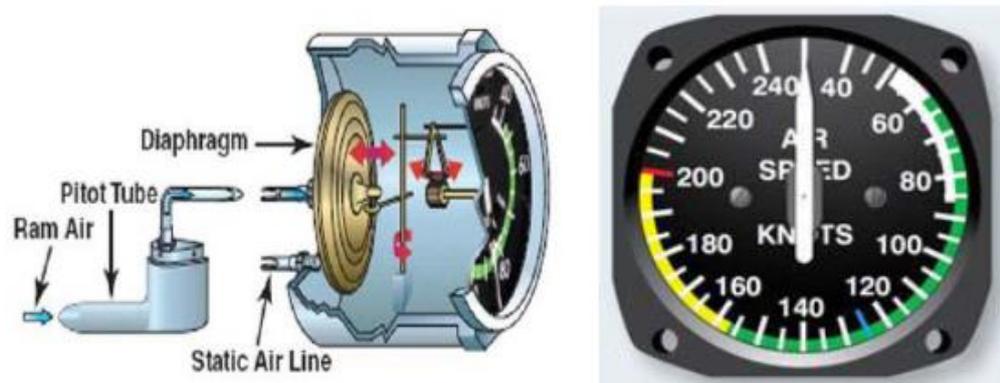
Indikator Kecepatan Udara terdiri dari:

1. Aneroid fosfor-perunggu bergelombang, tipis, atau diafragma menerima tekanannya dari tabung Pitot.
2. Kasing instrumen disegel dan dihubungkan ke port statis.

Mekanisme Indikator Kecepatan Udara :

1. Tekanan udara ram dari "Tabung Pitot" diarahkan ke Diafragma di samping Indikator Kecepatan Udara.
2. *Airtight case* dihubungkan ke *port* statis.
3. Saat diafragma mengembang atau berkontraksi, hubungan mekanis menggerakkan jarum di muka indikator.

4. Kecepatan udara pesawat terbang dapat diperoleh dari perbedaan antara tekanan statis atmosfer dan tekanan total terukur dari tabung pitot.

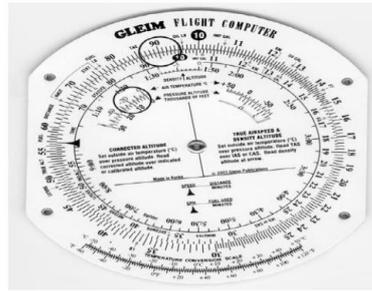


Gambar 2.7 *Airspeed* Indikator (GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Jenis Kecepatan Udara:

- Kecepatan udara terindikasi Ditampilkan pada putaran instrumen, Tidak terkoreksi atau kesalahan sistem
- Kecepatan udara terkalibrasi (CAS) Kecepatan pesawat bergerak di udara, yang ditemukan dengan mengoreksi IAS untuk kesalahan posisi. POH / AFM, memiliki bagan atau grafik untuk memperbaiki IAS untuk kesalahan ini dan memberikan CAS yang benar untuk berbagai konfigurasi flap dan landing gear.
- CAS kecepatan udara yang benar dikoreksi untuk tekanan dan suhu yang tidak standar.

Indikator kecepatan udara analog dilengkapi dengan grafik koreksi yang memungkinkan referensi silang kecepatan udara yang ditunjukkan ke kecepatan udara yang dikalibrasi untuk berbagai kondisi penerbangan.



Gambar 2.8 Grafik Koreksi *Airspeed* Indikator
(GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Instrumen penerbangan digital dapat melakukan perhitungan di ADC sehingga indikasi akurat yang diinginkan dapat ditampilkan. Instrumen kecepatan udara analog sering menyertakan perangkat kompensasi suhu bimetal yang dapat mengubah gerakan keterkaitan antara diafragma dan gerakan penunjuk. *Knobs* memutar permukaan dial dan hubungan internal untuk menghadirkan indikasi yang mengkompensasi suhu dan tekanan yang tidak standar, menghasilkan indikasi kecepatan udara yang benar lihat gambar 2.9.a.

Pilot secara manual menyelaraskan suhu udara luar dengan skala ketinggian tekanan, menghasilkan indikasi dari true airspeed, udara Ram dari tabung pitot dan udara statis dari ventilasi statis dijalankan ke bagian penginderaan komputer (ADC), Informasi suhu juga merupakan input. Informasi ini dapat dimanipulasi dan perhitungan dilakukan sehingga nilai kecepatan udara yang sebenarnya dapat dikirim secara digital ke kokpit untuk tampilan lihat gambar 2.9.b.



(a).

(b).

Gambar 2.9.a Tampilan indikasi kecepatan udara yang benar
 b. Tampilan pada *cockpit*
 (GMF:BCT-0012/A20, 2018)

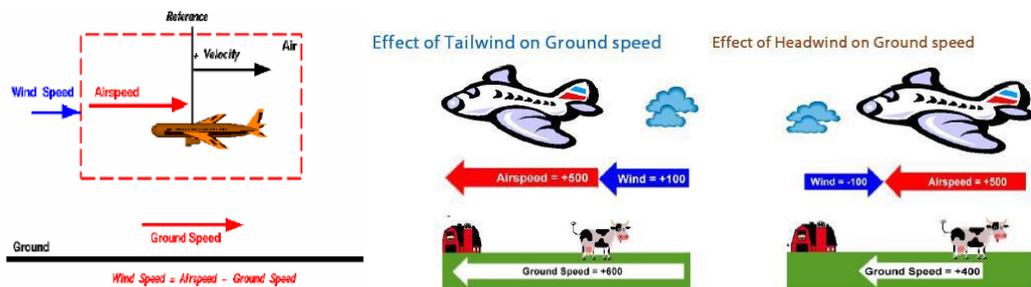
Ground speed , Airspeed, & Wind speed

Air Speed

Tingkat di mana sebuah Pesawat bergerak Melalui Udara

Ground speed

Kecepatan di mana Pesawat bergerak di atas Bumi mempertimbangkan faktor-faktor seperti arah dan kecepatan angin



(a).

(b).

(c).

Gambar 2.10.a Wind speed = airspeed-ground speed

b. Efek dari Tailwind pada Ground speed

c. Efek dari headwind pada Ground speed

(GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Mach Number

Mach Number adalah rasio kecepatan udara sebenarnya dari pesawat terhadap kecepatan suara dalam kondisi atmosfer yang sama

- Sebuah pesawat terbang dengan kecepatan suara terbang di Mach 1.0
- Sebagian besar pesawat berkecepatan tinggi terbatas pada jumlah Mach maksimum yang dapat mereka gunakan

Kesulitan berlanjut ketika mempertimbangkan indikasi kecepatan udara dan batasan operasi. Sangat penting untuk menjaga pesawat berkecepatan tinggi dari bepergian lebih cepat daripada kecepatan suara jika mereka tidak dirancang untuk melakukannya.

Masalah dengan ini adalah bahwa di dekat kecepatan suara, gelombang kejut dapat berkembang yang dapat mempengaruhi kontrol penerbangan dan, dalam beberapa kasus, benar-benar dapat merobek pesawat jika tidak dirancang untuk aliran udara supersonik.



2.11 Tampilan Mach number pada Indikator
(GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Kesulitan lebih lanjut adalah bahwa kecepatan suara berubah dengan ketinggian dan suhu

Standard Altitude, Temperature, and the Speed of Sound		
Altitude (feet)	Temperature (°F)	Speed of sound (knots)
Sea level	59	661
2,000	52	657
4,000	48	652
6,000	38	648
8,000	30	643
10,000	23	638
12,000	16	633
14,000	9	629
16,000	2	624
18,000	-5	619
20,000	-12	614
22,000	-19	609
24,000	-27	604
26,000	-34	599
28,000	-41	594
30,000	-48	589
32,000	-55	584
34,000	-62	579
36,000	-69	574
38,000	-70	574
40,000	-70	574
42,000	-70	574
44,000	-70	574
46,000	-70	574
48,000	-70	574
50,000	-70	574



(a).

(b).

Gambar 2.12.a Standar perbandingan Altitude, Temperatur, dan Kecepatan suara

b. Standar airspeed indikator dikalibrasi dalam knots (GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Kecepatan Udara maksimum yang diijinkan

Pesawat yang terbang dengan kecepatan subsonik tinggi dilengkapi dengan indikator kecepatan udara maksimum yang diizinkan Kecepatan Udara Standar Indikator, dikalibrasi dalam *knots*, tetapi memiliki penunjuk tambahan, berwarna merah, kotak-kotak, atau bergaris. Gambar 2.12.b.

1. Rentang Operasi Flap

Busur putih (*white arc*) menentukan rentang kecepatan di mana sayap dapat diperpanjang

- *Stall speed* dengan *Flaps Extended* dan *Landing Gear Deployed* (V_{S0})

Batas bawah busur putih menunjukkan kecepatan minimum di mana pesawat dapat diterbangkan dalam konfigurasi pendaratan tanpa terhenti.

Setelah terhenti, sayap cepat kehilangan daya angkat dan pesawat menjadi sulit atau tidak mungkin untuk dikendalikan oleh pilot

- Maksimum *Flaps Extended Speed* (VFE)

Batas atas dari busur putih menentukan kecepatan udara maksimum di mana sayap dapat sepenuhnya di *extend*. Kecepatan yang lebih tinggi akan menyebabkan beban pada flap yang mungkin melebihi batas strukturalnya yang mengakibatkan kerusakan pada pesawat.

2. Rentang Operasi Normal

Busur hijau (*green arc*) menentukan rentang kecepatan udara tempat pesawat dapat diterbangkan dengan aman dalam *cruise* konfigurasi dengan *flap* dan roda pendaratan ditarik.

- Stall speed dengan Flaps dan Landing Gear Retracted (VS1)

Batas bawah dari busur hijau menunjukkan kecepatan minimum di mana pesawat dapat diterbangkan dalam *cruise* konfigurasi tanpa terhenti.

- Kecepatan Operasi Normal Maksimum (VNO)

Batas atas busur hijau menentukan kecepatan jelajah maksimum dalam konfigurasi yang bersih

3. *Caution Range*

- Busur kuning (*yellow arc*)

Menentukan rentang kecepatan yang harus dihindari pilot kecuali terbang di aliran udara yang sangat halus

- Never Exceed Speed (VNE)

Garis merah (*red line*) menentukan kecepatan maksimum di mana pesawat dapat dioperasikan di udara yang halus. Pilot tidak boleh terbang lebih cepat dari

kecepatan udara ini atau akan terjadi risiko kerusakan struktural.

Penjelasan tanda pada indikator kecepatan udara yang khas gambar 2.13.



Gambar 2.13 Penjelasan tanda pada indikator kecepatan udara
(GMF:BCT-0012/A20, 2018)

2.4.3 Kegagalan Sistem Pitot-statis

Berbagai penyumbatan sistem pitot-statis dapat terjadi. Masalah yang paling umum adalah:

1. Pemanas pitot belum diaktifkan, atau gagal, dan es telah terbentuk dalam saluran masuk
2. Es telah bertambah karena ventilasi statis; atau
3. Benda asing telah memasuki sistem

Tabel 2.2 Kategori Efek Penyumbatan *Pitot Tube*

(GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Blockage effects may be categorized as follows:

Instrument	Static Blockage	Pitot Blockage
Altimeter	"Freezes" at constant value	n/a
VSI	"Freezes" at zero	n/a
ASI	Under-reads in climb and over-reads in descent	Over-reads in climb and under-reads in descent

Pemeriksaan sistem pitot-statis yang berkaitan dengan instrumen tertentu dicakup dalam bagian yang sesuai. Secara umum:

1. Pastikan pelepasan penutup pelindung dari pitot statis;
2. Pastikan dan Konfirmasikan elemen pemanas berfungsi; dan
3. Periksa secara visual untuk:
 - Pemasangan kepala pitot yang bengkok atau longgar
 - Deformasi badan pesawat di sekitar ventilasi statis, dan
 - Benda asing dalam tabung pitot atau ventilasi statis.

2.4.4 Pemeliharaan dan pengetesan Sistem Pitot-Statis

Air yang terperangkap dalam sistem statis pitot dapat menyebabkan indikasi yang tidak akurat atau terputus-putus pada instrumen penerbangan statis pitot. Ini khususnya masalah jika air membeku dalam penerbangan. Banyak sistem dilengkapi dengan saluran air pada titik-titik rendah dalam sistem untuk menghilangkan uap air selama perawatan. Jika tidak ada ini, udara terkompresi kering atau nitrogen dapat tertiuap melalui garis-garis sistem. Selalu lepaskan semua instrumen pitot-statis sebelum melakukannya dan selalu hembus dari ujung instrumen sistem menuju port pitot dan statis.

Prosedur ini harus diikuti oleh pemeriksaan kebocoran. Setelah selesai, teknisi harus memastikan bahwa saluran air ditutup dan dibuat aman sesuai dengan prosedur perawatan yang disetujui. Metode pengujian kebocoran tergantung pada jenis sistem pitot-statis pesawatnya, dan peralatan pengujian yang tersedia. Alat uji dihubungkan ke sistem statis pada ujung ventilasi statis, dan tekanan berkurang dalam sistem dengan jumlah yang diperlukan untuk menunjukkan 1.000 kaki pada altimeter.

Kemudian, sistem disegel/diseal dan diamati selama 1 menit jika kehilangan ketinggian lebih dari 100 kaki maka pesawat tidak diizinkan terbang atau perangkat dinyatakan *unserviceable*.



Gambar 2.14 Unit uji sistem analog pitot-statis (kiri)
dan unit uji statis pitot digital (kanan)
(GMF:BCT-0012/A20, 2018)

Jika ada kebocoran, pemeriksaan sistematis bagian sistem akan dilakukan sampai kebocoran diisolasi. Kebanyakan kebocoran terjadi pada fitting, Dalam semua kasus, tekanan dan *suction* harus diaplikasikan dan dilepaskan perlahan untuk menghindari kerusakan pada instrumen pesawat, unit pemeriksaan kebocoran sistem pitot biasanya memiliki altimeter bawaan sendiri. Hal ini memungkinkan *cross-check* fungsional altimeter pesawat dengan altimeter unit uji yang dikalibrasi saat melakukan pemeriksaan sistem statis, Setelah menyelesaikan uji kebocoran, pastikan bahwa sistem dikembalikan ke konfigurasi penerbangan normal. Periksa untuk memastikan bahwa semua *blanking plug*, *adaptor*, atau potongan pita perekat telah dilepas. Unit uji sistem analog pitot-statis dan unit uji statis pitot digital dapat dilihat pada gambar 2.14.

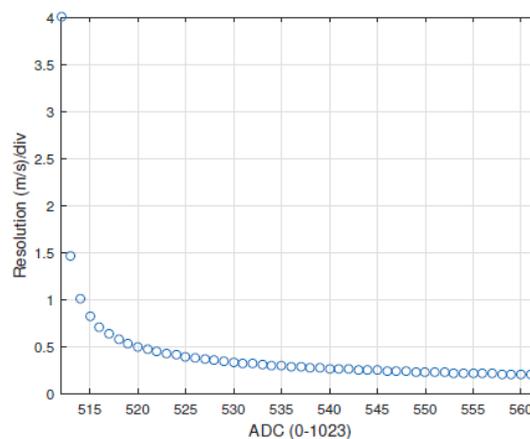
2.5 Kecepatan udara dengan Sensor MPXV7002dp

Saat ini, pengukuran kecepatan udara dilakukan menggunakan tabung Pitot. Dalam instrumen ini, dua pengukuran tekanan dilakukan melalui lubang datar: satu menghadap ke aliran fluida, disebut tekanan stagnasi, dan lainnya tegak lurus terhadap arah aliran fluida, yang disebut tekanan statis. Tekanan dinamis, yang merupakan perbedaan antara tekanan stagnasi dan tekanan statis, akhirnya dapat digunakan untuk menentukan kecepatan pesawat terbang.

Untuk pengukuran tekanan diferensial, dapat digunakan sensor MPX7002DP, yang diproduksi oleh Freescale, adalah elemen pasif yang mengambil dua pengukuran tekanan dan mengubah perbedaan dari -2 kPa hingga 2 kPa ke output dari 0,5 V hingga 4,5 V. Karena itu, sensitivitas sensor adalah 1 V / kPa dan rentang pengukuran yang diinginkan, dalam ketentuan tekanan, adalah dari 0 Pa hingga 245 Pa, maka rentang pengukuran yang diinginkan, dalam ketentuan tegangan, adalah dari 2,5 V hingga 2,8 V.

Memiliki ukuran langkah kuantisasi d , nilai ADC dapat dievaluasi. Karena hubungan kuadratik antara tekanan diferensial dan kecepatan udara, semakin besar kecepatan udara, semakin kecil perbedaan antara dua nilai digital, yaitu, resolusi. Gambar 2.15 menggambarkan pengukuran

resolusi per divisi dalam fungsi kecepatan udara sebenarnya (*real airspeed*). Seperti yang bisa dilihat, memiliki kecepatan udara sebenarnya hingga 8 m/s, resolusi lebih besar dari $0,5 \frac{\text{m/s}}{\text{div}}$ dan mungkin mencapai $4 \frac{\text{m/s}}{\text{div}}$.



Gambar 2.15 Resolusi pengukuran kecepatan udara menggunakan sensor MPXV7002DP dan mikrokontroler ATmega328.

(Tulio, Vinicius, Edison, 2018)

Komponen MPXV7002DP adalah sensor tekanan diferensial berbiaya rendah yang mudah ditemukan di pasaran. Namun, ketentuan dari pabrikan menunjukkan bahwa kesalahan pengukuran mungkin mencapai 6,5%, setara

dengan 250 Pa, ketika offset tidak disesuaikan. Melakukan penyesuaian dan dipastikan bahwa suhu lebih rendah dari 5°C, kesalahan pengukuran maksimum berkurang menjadi 2,5%, setara dengan 100 Pa. Mengingat kesalahan pengukuran 2,5% dan nilai kecepatan udara nyata 8 m / s, sensor mungkin masih menunjukkan kesalahan pengukuran hingga 7 m / s.

Serangkaian percobaan dilakukan menggunakan MPXV7002DP, untuk mengevaluasi pengulangan dan akurasi pengukuran sensor. Eksperimen dilakukan untuk mengevaluasi tanggapan MPX7002DP. Sebagai acuan instrumen, tabung Pitot melekat pada manometer tekanan diferensial yang digunakan. Tabung Pitot terpasang ke sensor dan tabung Pitot untuk pengukuran referensi ditempatkan berdampingan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16a. Manometer tekanan diferensial yang ditampilkan pada Gambar 2.16b sudah memiliki tanda kecepatan udara digunakan sebagai nilai referensi untuk kalibrasi MPX7002DP.

Gambar 2.17a menggambarkan kurva kalibrasi urutan ke-2 yang diambil berdasarkan 30 poin yang dikumpulkan 8 m/s hingga 16 m/s. Untuk menguji pengulangan sensor, mis., kemampuan memberikan respons tertutup satu sama lain, lima pengukuran kecepatan udara diambil untuk setiap nilai referensi. Untuk setiap set pengukuran, mean dan standar deviasi di mana dihitung. Dengan demikian, interval *confidence* pada *mean* berdasarkan interval *confidence* 95%, menggunakan distribusi *t-Student*, dilakukan. Gambar 2.17b menggambarkan analisis di mana titik mewakili *population mean* dan garis mewakili interval *confidence* pada *mean*.



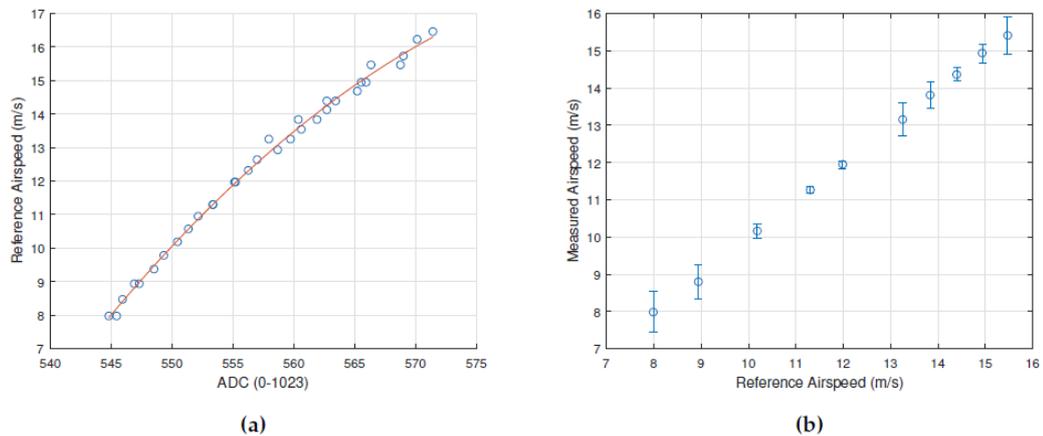
(a)

(b)

Gambar 2.16 (a) Tabung pitot (di sebelah kiri) terpasang pada sensor tekanan diferensial MPX7002DP. Tabung pitot (di sebelah kanan) melekat pada manometer tekanan diferensial yang digunakan sebagai referensi.

(b) Tekanan diferensial manometer berdasarkan mekanisme fluida yang memiliki tanda kecepatan udara.

(Tulio, Vinicius, Edison, 2018)



(a)

(b)

Gambar 2.17 (a) Kurva kalibrasi pengukuran kecepatan udara menggunakan sensor MPXV7002DP dan mikrokontroler ATmega328.

(b) Interval *confidence* pada *mean* berdasarkan kepercayaan 95% interval *confidence*, menggunakan distribusi *t-Student*.

(Tulio, Vinicius, Edison, 2018)

Seperti dapat dilihat pada Gambar 2.17b, respons instrumen dapat diterima dalam hal pengulangan pengukuran. Nilai-nilai tidak melewati 0,5 m/s mempertimbangkan interval *confidence* 95%. Bahkan, instrumen menghasilkan kemampuan akurasi yang hebat, sebagai hasil dari nilai *mean* mendekati ke referensi.

2.6 Sensor Tekanan Udara

Sensor tekanan adalah sensor untuk mengukur tekanan suatu zat. Tekanan (p) adalah satuan fisika untuk menyatakan gaya (F) per satuan luas (A). Satuan tekanan sering digunakan untuk mengukur kekuatan dari suatu cairan atau gas yaitu $P = F/A$.

Satuan tekanan ($\text{Pa} = \text{Pascal}$) dapat dihubungkan dengan satuan volume (isi) dan suhu. Semakin tinggi tekanan di dalam suatu tempat dengan isi yang sama, maka suhu akan semakin tinggi. Hal ini dapat digunakan untuk menjelaskan mengapa suhu di pegunungan lebih rendah dari pada di dataran rendah, karena di dataran rendah tekanan lebih tinggi.

Prinsip kerja dari sensor tekanan ini adalah mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Ukuran Tegangan didasarkan pada prinsip bahwa tahanan pengantar berubah dengan panjang dan luas penampang.

Perubahan tekanan pada kantung menyebabkan perubahan posisi inti kumparan sehingga mengakibatkan perubahan induksi magnetik pada kumparan. Kumparan yang digunakan adalah kumparan CT (center tap), dengan demikian apabila inti mengalami pergeseran maka induktansi pada salah satu kumparan bertambah sementara induktansi pada kumparan yang lain berkurang. Kemudian pengubah sinyal berfungsi untuk mengubah induktansi magnetik yang timbul pada kumparan menjadi tegangan yang sebanding.

Faktor lingkungan yang mempengaruhi kinerja sensor:

- Keadaan sirkulasi gas yang tidak menentu
- Keadaan Suhu pada suatu lingkungan
- Tekanan sekitar sensor
- Umur dari komponen sensor tersebut

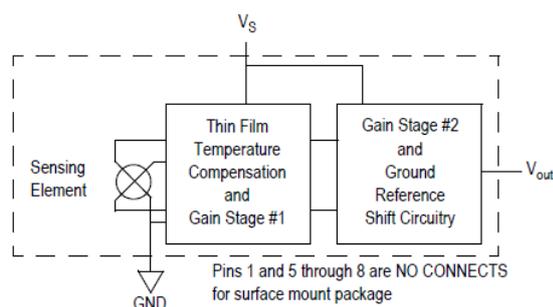
2.6.1 Sensor MPXV7002dp

Pada laporan akhir ini penulis membuat alat pitot tube menggunakan sensor tekanan udara tipe MPXV7002dp sebagai inputan data tekanan udara yang akan dikonversi oleh mikrokontroler menjadi airspeed.

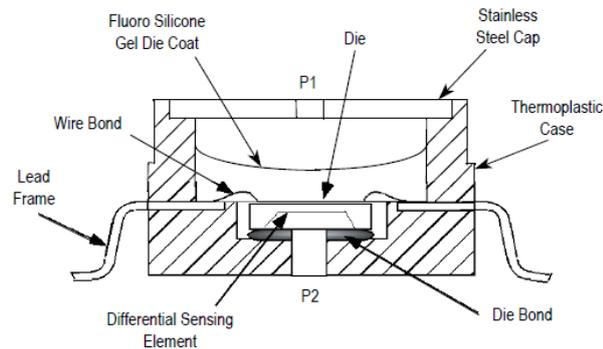
Sensor MPXV7002dp salah satu seri dari Transduser piezoresistif adalah sensor tekanan silikon monolitik yang dirancang untuk berbagai aplikasi, tetapi khususnya untuk yang menggunakan mikrokontroler atau mikroprosesor dengan input A / D. Transduser ini menggabungkan teknik micromachining canggih, film tipis metalisasi, dan pemrosesan bipolar untuk menghasilkan analog tingkat tinggi yang akurat, sinyal keluaran sebanding dengan tekanan yang diberikan.

Fitur dari Sensor ini:

- 2.5% *Typical Error* lebih dari + 10 ° C hingga + 60 ° C dengan Auto Zero
- 6.25% Maksimum Error lebih dari + 10 ° C hingga + 60 ° C tanpa Auto Zero
- Cocok untuk Sistem Berbasis Mikroprosesor atau Berbasis Mikrokontroler
- Paket Pemasangan Permukaan Termoplastik (PPS)
- Suhu dikompensasi lebih dari + 10 ° hingga + 60 ° C
- Gauge Strain Silicon Shear Stres yang Dipatenkan
- Tersedia dalam Konfigurasi Diferensial dan Gauge

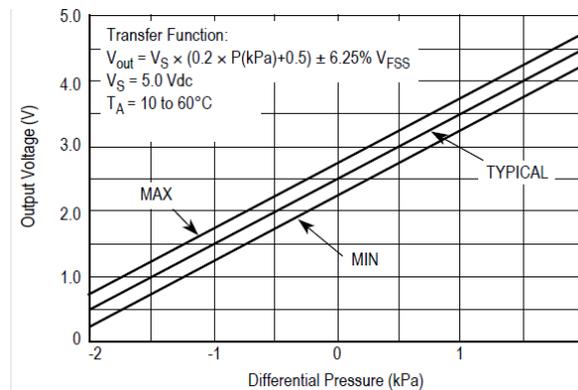


Gambar 2.18 Skema Sensor Tekanan Terintegrasi Penuh
(freescale,2008)



Gambar 2.19 Diagram Cross-Sectional SOP
(freescale,2008)

MPXV7002DP adalah sensor yang menghubungkan perbedaan tekanan antara dua inputnya. Dalam *datasheet*, pabrikan menyediakan hubungan kalibrasi antara tegangan output dan perbedaan tekanan. Plot ini ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 2.20 Perbandingan tegangan output dan diferensial pressure
(freescale,2008)

Hubungan tegangan vs tekanan untuk merepresentasikan perbedaan tekanan sebagai fungsi dari tegangan. Plot ini akan sangat penting untuk menghubungkan tegangan yang dibaca oleh pin analog Arduino kembali ke perbedaan tekanan antara tekanan stagnasi dan tekanan statis.

Beberapa catatan tentang plot di atas:

1. Batas tekanan tidak berubah meskipun ada tegangan suplai - artinya kita bisa menggunakan 3.3V atau 5.0V

2. Tekanan maksimum dan minimum menempatkan batas kecepatan sekitar 65 m / s.
3. Pasokan Arduino 5.0V mentah cukup berisik, yang menghasilkan kesalahan tinggi

Karena fungsi transfer tidak tepat, saya akan menggunakan metode point-slope untuk mendapatkan kembali fungsi transfer dan kemudian memplot ulang di bawah ini. Untuk memulai, kami menggunakan persamaan kemiringan linier:

$$y = mx + b \quad (11)$$

di mana m, b adalah kemiringan dan y-intersep dari garis, masing-masing. Dan y adalah pembacaan tegangan, dan x adalah perbedaan tekanan antara tekanan input (tekanan stagnasi dan tekanan statis). Dengan memilih dua titik pada baris di atas, kita dapat menyelesaikan untuk m dan b:

$$\frac{V_s}{2} = b \quad (12)$$

$$V_s = m(2,5) + \frac{V_s}{2} \quad (13)$$

$$m = \frac{V_s}{5} \quad (14)$$

Yang dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai:

$$y = \frac{V_s}{5}x + \frac{V_s}{2} \quad (15)$$

Ini adalah hubungan untuk mengubah tekanan menjadi tegangan, dan jika kita menyelesaikan untuk x, kita bisa mendapatkan persamaan untuk beralih dari tegangan ke tekanan:

$$x = \frac{5y}{V_s} - \frac{5}{2} \quad (16)$$

Tabel 2.3 Konversi tekanan dan tegangan MPXV7002DP

Pressure [kPa] to Voltage [Volts]	Voltage [Volts] to Pressure [Pa]
$V_r = \frac{V_s}{5}\Delta P + \frac{V_s}{2}$	$\Delta P = 1000 \cdot \left(\frac{5 \cdot V_r}{V_s} - \frac{5}{2} \right)$

Tabel di atas adalah ringkasan konversi antara tekanan dan tegangan dan sebaliknya. Di atas, V_r adalah pembacaan tegangan dari Arduino, dan V_s adalah tegangan suplai (Arduino baik 3.3V atau 5.0V - atau suplai eksternal lainnya di bawah 5.0V). Tekanan, P , dalam kPa atau Pa tergantung pada arah konversi. Saat beralih dari tekanan ke tegangan, digunakan kPa untuk mencocokkan unit plot. Saat beralih dari tegangan ke tekanan, dikonversi ke Pa sehingga dapat mencocokkan unit persamaan tabung pitot.

2.7 Mikrokontroler

Dalam rancang bangun ini, mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno. Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 (datasheet). Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya.

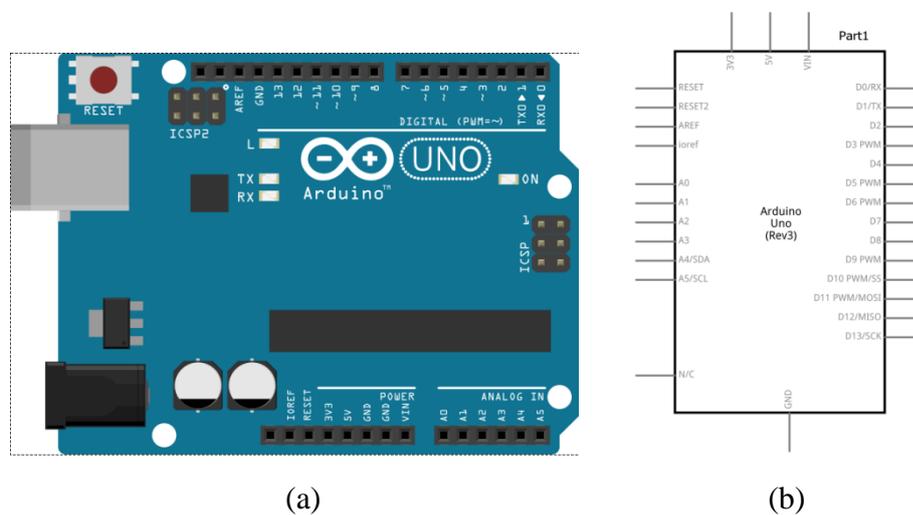
Uno berbeda dengan semua board sebelumnya dalam hal koneksi USB-to-serial yaitu menggunakan fitur Atmega8U2 yang diprogram sebagai konverter USB-to-serial berbeda dengan board sebelumnya yang menggunakan chip FTDI driver USB-to-serial.

Nama “Uno” berarti satu dalam bahasa Italia, untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi dari Arduino. Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian board USB Arduino, dan sebagai model referensi untuk platform Arduino. Pada alat ini penulis menggunakan Arduino Uno karena memiliki beberapa kelebihan, yaitu :

- Murah – Papan (perangkat keras) Mikrokontroler ini dijual dengan harga relatif murah sekitar RP. 125.000
- Sederhana dan mudah pemrogramannya – Karena bahasa yang dipakai bukanlah assembler yang relatif sulit, maka untuk para pemula arduino ini akan mudah dipelajari

- Connectornya berupa USB sehingga mudah digunakan
- Pemrograman relatif mudah dipelajari untuk pemula
- Perangkat lunaknya Open Source – Karena software Arduino IDE dipublikasikan sebagai Open Source, maka Arduino tersedia bagi para pemrogram berpengalaman. Karena bahasanya bisa dikembangkan lebih lanjut melalui pustaka-pustaka C++ yang berbasis pada Bahasa C untuk AVR.
- Perangkat kerasnya Open Source – Perangkat keras Arduino berbasis mikrokontroler ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA328 dan ATMEGA1280 (yang terbaru ATMEGA2560). Dengan demikian siapa saja bisa membuatnya (dan kemudian bisa menjualnya) perangkat keras Arduino ini, apalagi bootloader tersedia langsung dari perangkat lunak Arduino IDE-nya. Bisa juga menggunakan breadboard untuk membuat perangkat Arduino beserta periferal-periferal lain yang dibutuhkan.

2.7.1 Spesifikasi Mikrokontroler



Gambar 2.21 a. Bentuk Arduino Uno

b. Simbol Arduino Uno

(fritzing, 2019)

- Microcontroller ATmega328
- Operasi dengan daya : 5V

- Input Tegangan (disarankan) : 7-12V
- Input Tegangan (batas) : 6-20V
- Digital I / O Pin : 14 (dimana 6 memberikan output PWM)
- Analog Input Pin : 6
- DC Lancar per I / O Pin : 40 mA
- Saat 3.3V Pin 50 mA DC
- Flash Memory : 32 KB (ATmega328) yang 0,5 KB digunakan oleh bootloader
- SRAM : 2 KB (ATmega328)
- EEPROM : 1 KB (ATmega328)
- Clock Speed : 16 MHz

2.7.1.1 Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal (otomatis).

Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari AC-ke adaptor-DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack pusat-positif ukuran 2.1mm konektor POWER. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan kedalam Gnd dan Vin pin header dari konektor POWER.

Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk board Uno adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5v Uno dapat beroperasi tetapi tidak stabil kemudian jika diberi daya lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak board Uno. Pin listrik adalah sebagai berikut:

- VIN. Tegangan masukan kepada board Arduino ketika itu menggunakan sumber daya eksternal (sebagai pengganti dari 5 volt koneksi USB atau sumber daya lainnya).
- 5V. Catu daya digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya.

- 3v3. Sebuah pasokan 3,3 volt dihasilkan oleh regulator on-board.GND. Ground pin.

2.7.1.2 Memori

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk bootloader), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan EEPROM library).

2.7.1.3 Input dan Output

Masing-masing dari 14 pin digital di Uno dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi *pinMode* (), *digitalWrite* (), dan *digitalRead* (), beroperasi dengan daya 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki internal pull-up resistor (secara default terputus) dari 20-50 kOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) TTL data serial. Pin ini dihubungkan ke pin yang berkaitan dengan chip Serial ATmega8U2 USB-to-TTL.

Eksternal menyela: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interrupt pada nilai yang rendah, dengan batasan tepi naik atau turun, atau perubahan nilai. Lihat (*attachInterrupt*) fungsi untuk rincian lebih lanjut.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Menyediakan output PWM 8-bit dengan fungsi *analogWrite* ().

SPI: 10 (SS), 11 (Mosi), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan SPI library.

LED: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai nilai HIGH, LED on, ketika pin bernilai LOW, LED off.

Uno memiliki 6 masukan analog, berlabel A0 sampai dengan A5, yang masing-masing menyediakan 10 bit dengan resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

I2C: A4 (SDA) dan A5 (SCL). Dukungan I2C (TWI) komunikasi menggunakan perpustakaan Wire.

Aref. Tegangan referensi (0 sampai 5V saja) untuk input analog. Digunakan dengan fungsi *analogReference ()*.

Reset. Bawa baris ini LOW untuk me-reset mikrokontroler.

2.7.1.4 Komunikasi

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5V) untuk komunikasi serial, yang tersedia di pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega8U2 sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai port virtual com untuk perangkat lunak pada komputer. Firmware '8 U2 menggunakan driver USB standar COM, dan tidak ada driver eksternal yang diperlukan. Namun, pada Windows diperlukan, sebuah file inf. Perangkat lunak Arduino terdapat monitor serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari board Arduino. LED RX dan TX di papan tulis akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

Sebuah *SoftwareSerial library* memungkinkan untuk berkomunikasi secara serial pada salah satu pin digital pada board Uno's.

ATmega328 juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C, lihat dokumentasi untuk rincian. Untuk komunikasi SPI, menggunakan perpustakaan SPI.

2.8 LCD (Liquid Crystal Display)

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Adapun fitur yang disajikan dalam LCD ini adalah:

- Terdiri dari 16 karakter dan 2 baris.
- Mempunyai 192 karakter tersimpan.
- Terdapat karakter generator terprogram.

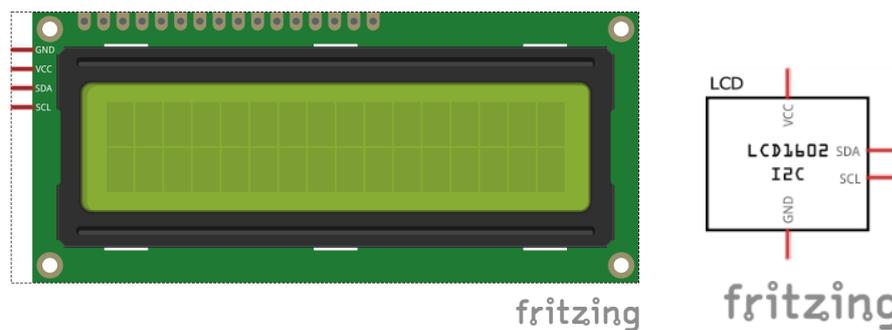
-Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit.

-Dilengkapi dengan back light.

Proses inialisasi pinarduino yang terhubung ke pin LCD RS, *Enable*, D4, D5, D6, dan D7, dilakukan dalam baris LiquidCrystal (2, 3, 4, 5, 6, 7), dimana lcd merupakan variable yang dipanggil setiap kali intruksi terkait LCD akan digunakan.

Tabel 2.4 Spesifikasi LCD 16x2

No.	Symbol	Function
1	Vss	GND pin, 0 V
2	Vdd	Positive Power pin, +5 V
3	V0	LCD drive voltage input pin
4	Rs	Data/Instruction select input pin
5	R/W	Read/Write select input pin
6	E	Enable input pin
7-14	D0 – D7	Data Bus Line
15	LED A	LED Power Supply
16	LED K	LED Power Supply



Gambar 2.22 LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 i2c

(fritzing,2019)

Pada Laporan Akhir ini LCD dapat menampilkan karakternya dengan menggunakan library yang bernama LiquidCrystal. Berikut ada beberapa fungsi-fungsidarilibrary LCD:

1. begin()

Untuk `begin()` digunakan dalam inisialisasi interface ke LCD dan mendefinisikan ukuran kolom dan baris LCD. Pemanggilan `begin()` harus dilakukan terlebih dahulu sebelum memanggil instruksi lain dalam library LCD. Untuk syntax penulisan instruksi `begin()` ialah sebagai berikut. `lcd.begin(cols,rows)` dengan `lcd` ialah nama variable, `cols` jumlah kolom LCD, dan `rows` jumlah baris LCD.

2. `clear()`

Instruksi `clear()` digunakan untuk membersihkan pesan text. Sehingga tidak ada tulisan yang ditampilkan pada LCD.

3. `setCursor()`

Instruksi ini digunakan untuk memposisikan cursor awal pesan text di LCD. Penulisan syntax `setCursor()` ialah sebagai berikut. `lcd.setCursor(col,row)` dengan `lcd` ialah nama variable, `col` kolom LCD, dan `row` baris LCD.

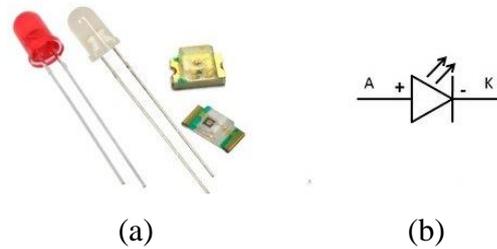
4. `print()`

Sesuai dengan namanya, instruksi `print()` ini digunakan untuk mencetak, menampilkan pesan text di LCD. Penulisan syntax `print()` ialah sebagai berikut. `lcd.print(data)` dengan `lcd` ialah nama variable, `data` ialah pesan yang ingin ditampilkan

2.9 LED (Light Emitting Diode)

Light Emitting Diode atau sering disingkat dengan LED adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju

LED merupakan keluarga Dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Warna-warna Cahaya yang dipancarkan oleh LED tergantung pada jenis bahan semikonduktor yang dipergunakannya. LED juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak tampak oleh mata.



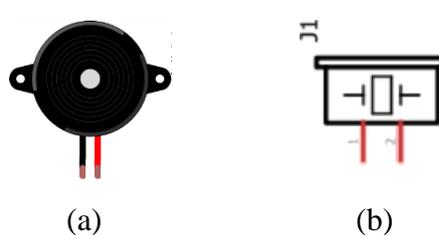
Gambar 2.23 a. Bentuk LED (Light Emitting Diode)
 b. Simbol LED (Light Emitting Diode)
 (unnes,2015)

2.9.1 Cara Kerja LED (Light Emitting Diode)

LED terdiri dari sebuah chip semikonduktor yang di doping sehingga menciptakan junction P dan N. Yang dimaksud dengan proses doping dalam semikonduktor adalah proses untuk menambahkan ketidakmurnian (impurity) pada semikonduktor yang murni sehingga menghasilkan karakteristik kelistrikan yang diinginkan. Ketika LED dialiri tegangan maju atau bias forward yaitu dari Anoda (P) menuju ke Katoda (K), Kelebihan Elektron pada N-Type material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan Hole (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (P-Type material). Saat Elektron berjumpa dengan Hole akan melepaskan photon dan memancarkan cahaya monokromatik (satu warna).

LED atau Light Emitting Diode yang memancarkan cahaya ketika dialiri tegangan maju ini juga dapat digolongkan sebagai Transduser yang dapat mengubah Energi Listrik menjadi Energi Cahaya.

2.10 Buzzer



Gambar 2.24 a. Bentuk *Buzzer*
 b. Simbol *Buzzer*
 (fritzing, 2019)

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Pada dasarnya prinsip kerja *buzzer* hampir sama dengan loud speaker, jadi *buzzer* juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi elektromagnet, kumparan tadi akan tertarik ke dalam atau keluar, tergantung dari arah arus dan polaritas magnetnya, karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap gerakan kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak-balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara. *Buzzer* biasa digunakan sebagai indikator bahwa proses telah selesai atau terjadi suatu kesalahan pada sebuah alat (alarm).

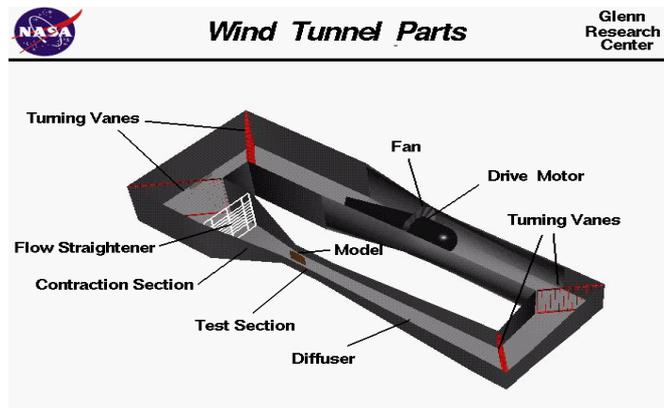
2.11 *Wind Tunnel*

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*) Terowongan angin 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.

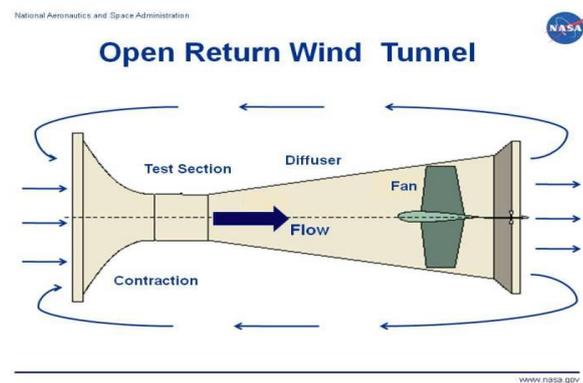
Jenis terowongan angin ada 2 yaitu sistem terbuka (*open jet type*) dan sistem tertutup (*close jet type*). Pada kedua terowongan angin ini aliran udara didapat dari putaran kipas angin (*fan*) yang digerakkan oleh motor listrik.

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.



Gambar 2.25 *Close jet type Wind Tunnel* (Nancy Hall, 2015)



Gambar 2.26 *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)