

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) di mana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Proses lain untuk melepaskan energi dari bahan bakar adalah melalui reaksi eksotermal dan reaksi nuklir (seperti Fisi nuklir atau Fusi nuklir). Hidrokarbon (termasuk di dalamnya bensin dan solar) sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang paling sering digunakan manusia. Bahan bakar lainnya yang bisa dipakai adalah logam radioaktif. Bahan bakar dapat di klasifikasikan sesuai wujud fisiknya yaitu bahan bakar padat, gas dan cair. (Lit. 1)

2.1.1 Bahan bakar padat

Bahan bakar padat digunakan untuk *External Combustion Engine*, antara lain kayu atau batu bara. Jenis bahan bakar ini tidak cocok untuk pembakaran di dalam dengan alasan laju kecepatan pembakaran yang rendah, nilai kalor yang rendah dan masih banyak faktor yang merugikan lainnya.

2.1.2 Bahan bakar Gas

Banyak digunakan untuk pembakaran dalam, namun perlu ruang yang relatif besar sehingga tidak digunakan untuk bahan bakar pesawat terbang. Contohnya Gas alam dan LPG (Liquid Petroleum Gas).

2.1.3 Bahan bakar Cair

Sangat ideal untuk *Internal Combustion*. Bahan bakar cair diklasifikasikan menjadi 2, yaitu Bahan bakar tidak mudah menguap (Nonvolatile) dan mudah

menguap (Volatile). Bahan bakar *Nonvolatile* adalah bahan bakar berat yang digunakan pada mesin diesel. Yang termasuk kelas Volatile adalah bahan bakar yang digunakan dengan cara mengkabutkan bahan bakar tersebut masuk ke ruang bakar. Contoh : alkohol, benzol, kerosin dan *gasoline*. Bahan bakar yang digunakan untuk pesawat mengandung energi kimia yang jika dibakar akan melepas energi kalor. Kemudian dikonversikan menjadi energi mekanis yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan *thrust* yang akan mendorong pesawat terbang.

2.2 Bahan Bakar pada Pesawat Udara

Bahan bakar pesawat tergantung mesin (engine) yang dipakai pesawat terbang itu sendiri. Bahan bakar pesawat hanya ada dua yaitu avtur dan avgas (Lit.2). Avtur adalah singkatan dari *Aviation Turbine Fuel* (bahan bakar yang digunakan untuk pesawat yang menggunakan mesin turbin gas atau bahasa gaulnya mesin jet) dan Avgas adalah *Aviation Gasoline* (bahan bakar pesawat terbang yang menggunakan mesin piston). Asal mula avtur dan avgas adalah *crude oil* atau minyak mentah, sama seperti bahan bakar fosil lainnya seperti diesel, gas LPG, dan sebagainya. Dari minyak mentah itulah dilakukan proses *refining* sehingga terbentuklah berbagai macam bahan bakar dan beberapa diantaranya adalah avtur dan avgas untuk pesawat terbang.

Sebelum mengurai tentang avgas dan avtur, terlebih dahulu harus mempelajari tentang ASTM. ASTM adalah American Standard Testing Material, yaitu standar uji dan penamaan untuk sebuah material dimana avgas dan avtur ketika dalam standar testing di Amerika bukan lagi disebut avtur atau avgas ,tetapi menggunakan nama ASTM diikuti kode angkanya dan untuk standar inggris menggunakan DEF-STAN lalu diikuti kode angkanya.. Avtur tidak menggunakan angka oktan atau RON karena avtur merupakan turunan dari *kerosene* atau minyak tanah. Berikut beberapa contoh bahan bakar pesawat dan warnanya.

2.2.1 AVGAS (Aviation Gasoline)

Avgas adalah bahan bakar pesawat untuk jenis pesawat bermesin piston. Avgas merupakan bahan bakar yang diolah dari *gasoline* (bensin) yang lebih disempurnakan dari segi *volatility*, titik didih, titik bekunya dan *flash point* nya.:

a. Avgas 100 / ASTM D-910/ DEF-STAN 91-90

Ciri-ciri AVGAS 100 yaitu oktan tinggi karena ditambahkan zat aditif yaitu *lead*/timbal. *Lead* atau timbal sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Warna AVGAS 100 adalah hijau.



Gambar 2.1 Avgas 100
(Sumber : www.aripsusanto.com)

b. Avgas 100LL

Sama dengan Avgas 100 tetapi ditambah huruf LL (Low Lead) type ini memiliki kadar timbal yang lebih sedikit ,jadi lebih aman daripada AVGAS 100. Warna bahan bakar ini adalah biru.



Gambar 2.2 Avgas 100LL
(Sumber : www.aripsusanto.com)

c. Avgas 82UL / ASTM 6227

Digunakan untuk mesin pesawat yang memiliki rasio kompresi rendah. Jenis ini tidak ditambah *lead* atau timbal untuk meningkatkan angka oktan. Warna bahan bakar jenis ini adalah ungu.



Gambar 2.3 Avgas 82UL / ASTM 6227
(Sumber : www.aripsusanto.com)

2.2.2 Avtur (Aviation Turbine Fuel) / Aviation Kerosene

Jika avgas untuk pesawat bermesin piston, kalau avtur untuk pesawat bermesin turbine gas atau jet. Avgas diolah dari gasoline/bensin sedangkan avtur diolah dari *kerosene* (minyak tanah). Sifat yang terkandung pada minyak tanah yang dipakai untuk masak dan lampu sentir/lampu teplok itulah asalnya avtur. Perbedaannya hanya dari segi kebersihannya dan titik didih serta flash pointnya.

Avtur adalah nama umum (trivial) di kehidupan sehari-hari, setiap negara memiliki nama sendiri-sendiri untuk menamakan avtur di negaranya. Nama avtur dikalangan pesawat sipil berbeda dengan nama avtur untuk tentara NATO, Cina, dan lain-lain walaupun sama-sama avtur. Avtur untuk sipil diberi nama Jet A-1, Jet A dan Jet-B. Untuk militer didahului dengan huruf JP (Jet Propellant). Untuk Inggris menggunakan kode DEF STAN 91-91. Untuk internasional/testing Amerika ASTM D1665. Untuk NATO F-35. Untuk Rusia memberi nama TS-1. Cina memberi nama RP-1 RP-2 dan sebagainya.

a. Avtur Versi Sipil/Pesawat Komersial/ Untuk Maskapai

Avtur untuk versi sipil dibagi menjadi tiga yaitu Jet-A1, Jet-A, dan Jet-B. Dibawah ini adalah tabel perbandingan karakteristik antara Jet A dan Jet A-1.

Tabel 2.1 Karakteristik Jet A dan Jet A-1
(Sumber : Lit.3)

	Jet A-1	Jet A
Flash point	38 °C (100 °F)	
Autoignition temperature	210 °C (410 °F) ^[9]	
Freezing point	-47 °C (-53 °F)	-40 °C (-40 °F)
Open air burning temperatures	260–315 °C (500–599 °F) ^[9]	
Density at 15 °C (59 °F)	.804 kg/L (6.71 lb/US gal)	.820 kg/L (6.84 lb/US gal)
Specific energy	43.15 MJ/kg	43.02 MJ/kg
Energy density	34.7 MJ/L	35.3 MJ/L

Yang paling mencolok adalah *freezing point* atau titik bekunya dimana Jet A-1 memiliki titik beku paling rendah dibandingkan Jet-A. Jet B adalah bahan bakar avtur yang memiliki titik beku paling rendah dan terbuat dari campuran *kerosene* dan *gasoline*. Untuk pesawat terbang yang terbangnya sangat tinggi dimana suhunya sangat rendah, menggunakan bahan bakar ini seperti pesawat SR-71 Blackbird.

(i) Avtur Jet A-1 / DEF-STAN 91-91 / F-35 / ASTM-D1665

Avtur Jet A-1 adalah avtur yang paling banyak digunakan untuk pesawat komersil. Pesawat Garuda, Lion Air, Citilink, Sriwijaya, dan lain-lain menggunakan avtur jenis ini. Avtur jenis ini memiliki kelebihan titik bekunya hingga minus 47 derajat celsius. Hal ini sangat mendukung operasi penerbangan pesawat ketika terbang *cruising* atau terbang jelajah pada ketinggian 30000 kaki sampai 40000 kaki. Pada ketinggian jelajah tersebut, suhu *ambient* atau *freestream* mencapai minus 45 derajat celsius. Bayangkan apa yang terjadi jika pesawat terbang tidak menggunakan avtur Jet A-1 pada saat terbang jelajah, sudah pasti avturnya akan membeku menjadi es, pesawat akan mengalami kegagalan mesin (*engine fail*), dan pesawat akan jatuh. Di spesifikasi inggris, Avtur Jet A-1 disebut DEF-STAN 91-91, tentara NATO menyebutnya F-35, dan ASTM Internasional menyebutnya ASTM D-1665 walaupun intinya sama, adalah sama-sama avtur.



Gambar 2.4 Avtur Jet A-1
(Sumber : www.aripsusanto.com)

(ii) Avtur Jet A / DEF-STAN 91-91 / F-35 / ASTM-D16

Avtur Jet-A memiliki flash point minus 40 dan tidak digunakan pada pesawat-pesawat komersil di Indonesia. Avtur jenis ini dipakai untuk pesawat latih ataupun pesawat bermesin jet yang tidak terbang tinggi.

(iii) Avtur Jet B / ASTM D-6615/CAN-CGSB 3

Avtur jenis ini tidak dipakai di Indonesia karena avtur jenis ini *flammability* nya sangat tinggi dan digunakan pada daerah cuaca ekstrem seperti eropa dan amerika bagian utara yang memiliki temperatur sangat dingin. Avtur jenis ini sangat rumit dari segi penyimpanannya sehingga butuh penanganan ekstra untuk menggunakan avtur jenis ini.

b. Avtur Versi Pesawat Militer

Avtur versi militer menggunakan simbol JP (Jet Propellant). Antara lain:

1. JP-4 yaitu avtur yang memiliki titik beku yang sangat rendah. NATO memberi kode avtur ini F-40 dengan sebutan Avtag dan dalam versi sipil, JP-4 ini adalah Jet B.
2. JP-5 adalah avtur yang berwarna kuning dan memiliki titik beku -46 derajat celcius. NATO memberi kode bahan bakar ini F-44 dengan sebutan Avcat.
3. JP-8 yaitu avtur yang banyak digunakan karena JP-8 adalah Jet A-1 dalam versi sipilnya. NATO menyebutnya dengan kode F-34.

2.3 Sistem Bahan Bakar Pesawat Terbang (Aircraft Fuel System)

Sebuah pesawat tidak akan terbang jika tidak ada bahan bakar (*fuel*) yang mengisinya, jadi bisa dibilang *fuel* adalah syarat penting pesawat untuk bisa terbang. Selain ada *fuel*, pasti juga akan ada sistem yang menjalankannya di dalam pesawat, suatu *fuel* tidak akan bekerja jika tidak ada sistem yang bekerja didalamnya. Sistem bahan bakar pesawat berfungsi untuk memberikan aliran *fuel* yang sudah tersaring bersih, dengan aliran yang konstan ke karburator atau FCU (Fuel Control Unit). Pemberian aliran *fuel* harus sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan *engine* dalam berbagai keadaan pesawat saat terbang.

2.3.1 Persyaratan

Pemberian aliran bahan bakar ini harus sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan engine dalam operasinya pada berbagai ketinggian dan sikap (*attitude*) terbang. Sistem pembakaran pada pesawat memiliki beberapa persyaratan :

1. *Dependable*, setiap bahan bakar harus di konstruksikan dan disusun sedemikian rupa agar menjamin aliran *fuel* tetap pada tekanan dan laju yang diinginkan oleh engine serta APU (Auxiliary Power Unit) dalam setiap kondisinya.
2. *Independence*, *filler cap* (lubang pengisian) harus dirancang sedemikian rupa agar pemasangannya mudah dan tidak lepas pada saat penerbangan. Biasanya *filler cap* dilengkapi dengan ventilasi sehingga tekanan tangki tetap stabil.
3. *Lightning Protection*, sistem bahan bakar harus dilengkapi dengan pencegah kebakaran akibat sambaran petir.
4. *Fuel Flow*, *fuel system* harus dapat memberikan aliran *fuel* yang sesuai dengan kebutuhan pesawat.
5. *Indicator-able*, harus dapat dilihat/dipantau melalui indikator pada pesawat seperti *fuel quantity indicator*, *fuel pressure indicator*, dan sebagainya.

2.4 Komponen-komponen Sistem Bahan Bakar

Sistem bahan bakar merupakan sistem yang sangat penting pada suatu pesawat udara. Hal ini karena fungsi utamanya ialah memasok *fuel* kepada *engine*, dimana *engine* merupakan tenaga penggerak utama dari pesawat. Untuk itu diperlukan beberapa komponen yang penting antara lain:

2.4.1 Tangki Bahan Bakar (Fuel Tank)

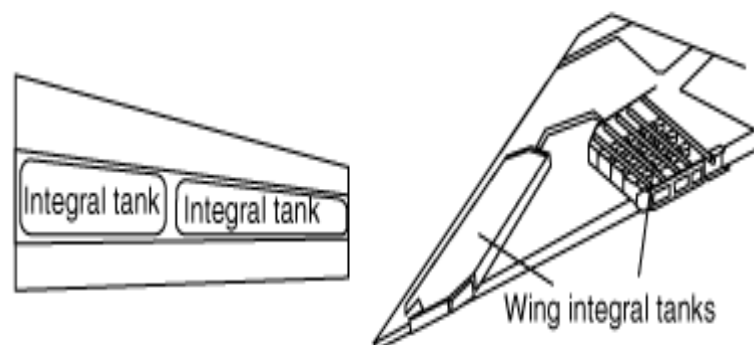
Berfungsi sebagai penyimpan bahan bakar yang digunakan untuk operasi *engine* pesawat terbang. Kontruksi *fuel tank* pesawat terbang dari bahan paduan aluminium, karet sintetis tahan bahan bakar, bahan-bahan komposit ataupun baja tahan karat (stainless steel).

a. Jenis *Fuel Tank*

Setiap pesawat udara memiliki jenis tangki yang berbeda tergantung dari fungsi pesawat tersebut. Berikut beberapa jenis tangki yang digunakan pada pesawat terbang.

(i) *Integral Tank*

Tangki yang merupakan bagian integral (menjadi satu) dengan struktur dasar pesawat. bagian – bagian struktur, antara lain: permukaan sayap (*wingskin*) , *ribs* , *stiffeners & stringers* sehingga membentuk tangki. Guna mencegah kebocoran digunakan bahan *sealing*, yang terbuat dari karet sintetis.



Gambar 2.5 *Integral Tank*
(Sumber: aviation_dictionary.enacademic.com)

(ii) *Rigid Removeable Tank*

Merupakan tangki yang terbuat dari metal (biasanya dari aluminium yang dilas).berbentuk ruang guna menyimpan bahan bakar. Jenis tangki ini banyak digunakan pada pesawat-pesawat kecil.



Gambar 2.6 *Rigid Removeable Tank*
(Sumber : <http://okigihan.blogspot.com>)

(iii) *Blader fuel cell*

Berupa kantong karet yang konstruksinya diperkuat yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar. Komponen *blader fuel cell* antara lain ventilasi, *fitting* penguras (*drain valve*), *fuel quantity indicator*. *Blader fuel cell* dipasang dalam ruang dalam pesawat dengan cara memasukkannya dengan melipat.



Gambar 2.7 *Blader fuel cell*
(Sumber : www.ebay.com)

(iv) *External Tank*

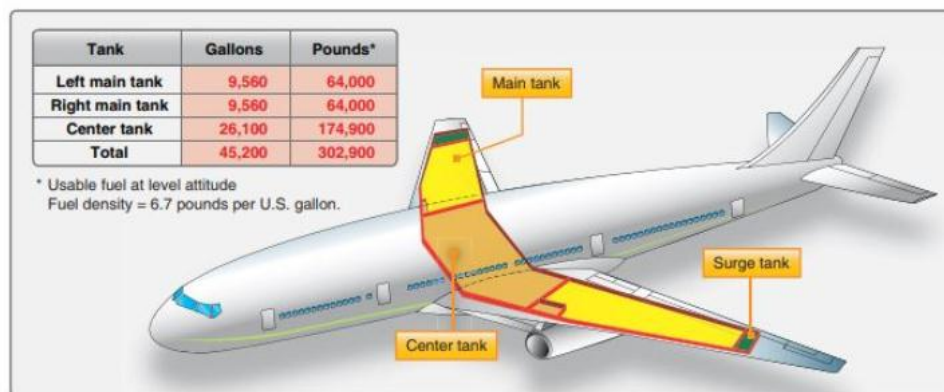
External Tank adalah tangki yang diluar struktur pesawat, biasanya dipasang pada *pylon* dibawah sayap. Beberapa jenis *external tank* yang bisa dijatuhkan saat penerbangan jika tangki tersebut tidak dibutuhkan, atau bisa dilepas dengan mudah dan cepat. Pada bagian dalam tangki biasanya disekat oleh beberapa *bulkhead*.



Gambar 2.8 *External Fuel Tank*
(Sumber : www.arcair.com)

(v) *Surge Tank*

Biasanya dipasang pada pesawat transport dengan konstruksi mirip seperti tangki jenis integral. *Surge tank* sebenarnya tidak diisi bahan bakar, namun hanya digunakan untuk penampungan kelebihan atau tumpahan bahan bakar terutama pada saat pengisian bahan bakar. Letak *surge tank* dalam pesawat dapat dilihat pada gambar 2-9.



Gambar 2.9 *Surge Tank*
(Sumber : rjpatelioc-petroleum.blogspot.com)

2.4.2 *Fuel Pump (Pompa Bahan Bakar)*

Pompa bahan bakar digunakan untuk memompa bahan bakar dari tangki ke *engine*, memompa bahan bakar dari tangki yang satu ke tangki yang lain serta dari *engine* kembali ke tangki. prinsip kerja pompa bahan bakar sama seperti pompa hidrolik atau jenis pompa lainnya. namun karena sifat bahan bakar yang mudah

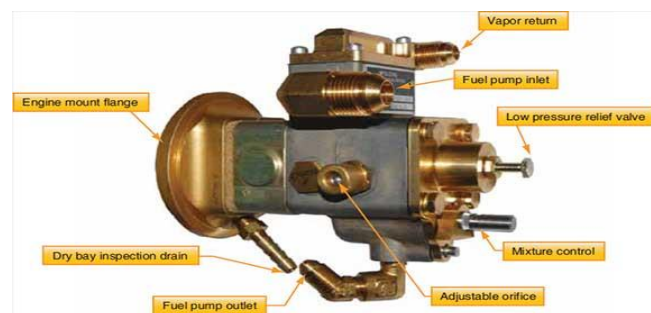
terbakar jika dipompa, maka bahan dan perancangan pompa bahan bakar harus dapat mencegah terjadinya kebakaran.

a. Jenis – jenis Pompa

Ada beberapa jenis pompa yang terdapat pada pesawat udara, tergantung fungsinya masing-masing. Berikut beberapa jenis pompa yang terdapat pada pesawat udara.

(i) *Engine Driven Fuel Pump*

Fungsi *engine driven fuel pump* (pompa bahan bakar yang diputar engine) adalah untuk memberikan bahan bakar secara kontinyu dengan tekanan yang tepat selama engine beroperasi.



Gambar 2.10 Engine Driven Fuel Pump
(Sumber : www.flight-mechanic.com)

(ii) *Auxiliary Fuel Pump (Booster Pump)*

Booster pump merupakan bagian penting dalam system bahan bakar, karena berfungsi :

1. Penghasil tekanan dalam bahan bakar pada saat *start engine* (*fuel engine driven pump* belum bekerja)
2. Penghasil tekanan bahan bakar pada saat emergensi yaitu saat *fuel engine driven pump* mati/rusak.
3. Menambah kapasitas pemompaan *fuel engine driven pump* guna menjamin tekanan bahan bakar yang cukup pada kondisi tertentu, al: pada saat pesawat dalam proses *take off* dan *landing*.
4. Memindahkan bahan bakar dari tangki satu ke tangki lainnya.



Gambar 2.11 *Auxiliary Fuel Pump* (Booster Pump)
(Sumber : aircraftaccessoriesofok.com)

(iii) *Ejector Pump*

Berguna untuk menghisap fuel dari tempat yang relatif jauh dari tangki & memberikan *fuel* bertekanan untuk *fuel control unit* (fcu). Pompa ini tidak mempunyai bagian-bagian bergerak melainkan hanya tergantung pada aliran bahan bakar dari *engine driven pump*.



Gambar 2.12 Ejector Pump
(Sumber : essexindustries.com)

2.4.3 Katub Pengurasan (Drain Valve)

Sistem fuel pesawat terbang dilengkapi *drain valve*, sehingga system dapat dikuras saat pesawat di ground. *drain valve* dapat menjadi satu dengan filter bahan bakar (*feul strainer*), pada *sump* (tampungan) atau pada tempat lainnya. katup

pada *sump* digunakan untuk menguras akumulasi uap dari tangki dan untuk menguras feul dari tangki yang masih tersisa setelah *defueling*.



Gambar 2.13 Drain Valve
(Sumber : corporatejetinvestor.com)

2.4.4 Fuel Selector Valve dan Shutoff Valve

Fuel Selector Valve dan Shutoff Valve digunakan untuk menutup aliran bahan bakar, memilih tangki yang akan digunakan (jika menggunakan multi tank), memindahkan feul dari tangki satu ke tangki lainnya serta mengarahkan fuel ke satu atau lebih engine (yang menggunakan multi engine). Satu atau lebih dari katub-katub tersebut digunakan untuk menutup semua aliran bahan bakar ke tiap-tiap engine.

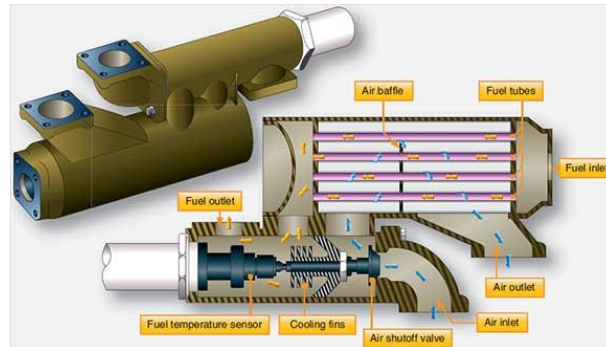


Gambar 2.14 Fuel Selector Valve dan Shutoff Valve
(Sumber: sierrahotelaero.com)

2.4.5 Fuel Heater (Pemanas Bahan Bakar)

Pemanas bahan bakar biasanya digunakan dalam sistem *fuel* pada *turbine engine*, untuk mencegah terbentuknya kristal es yang dapat menyumbat filter. Jika temperatur fuel dalam tangki dibawah titik beku air, maka partikel air akan

membeku. Jika bahan bakar yang mengandung kristal es mengalir melalui filter, maka dapat terjadi penyumbatan.



Gambar 2.15 Fuel Heater
(Sumber : flight-mechanic.com)

2.4.6 Filler Cap

Filler cap harus kedap dan dirancang tidak bisa terlepas dalam penerbangan. Ventilasi tangki biasanya terdapat pada *filler cap*. *Fuel cap* dilepas dengan cara mengangkat dan memutar handel pada pusat cap. rantai pada *fuel cap* berguna untuk mencegah agar cap tidak jatuh saat dibuka. pada saat dipasang, *fuel cap* permukaannya rata dengan sayap dan kedap bocor karena adanya seal “o” ring.



Gambar 2.16 Filler Cap
(Sumber : <https://grabcad.com>)

2.4.7 Fuel Lines dan Piping

Sistem bahan bakar pesawat menggunakan pipa-pipa paduan aluminium, tembaga atau jenis lain dan selang (flexible hose) dengan *fitting*. *Hose* ini terbuat dari karet sintetis dan diperkuat dengan anyaman *fiber*. Jenis *hose* lain yaitu : *weather head* 3H-241 yang dilengkapi dengan jenis *fitting* yang bisa digunakan

lagi. Yang daerah operasi kerja antara -40 sampai dengan 300 F (-40 sampai dengan 149 C) jika digunakan dalam bahan bakar.

2.5 Pengisian Bahan Bakar

Tidak seperti mobil yang mengisi bahan bakar di SPBU, pesawat terbang memiliki beberapa cara mengisi bahan bakar. Ada dua cara pesawat mengisi bahan bakarnya yaitu dengan cara Aerial Refuelling (pengisian bahan bakar di udara) dan Ground Refuelling (pengisian bahan bakar di darat atau di bandara). (Lit.3)

2.5.1 Aerial Refuelling (pengisian bahan bakar di udara)

Pengisian bahan bakar di udara, juga disebut air refueling, in-flight refueling, air to air refueling, atau tanking, adalah proses pengisian bahan bakar dari satu pesawat (pesawat tanker) ke pesawat lain (penerima) dalam sebuah penerbangan (Lit.3). Hal ini dilakukan guna menambah jarak tempuh pesawat dari yang awal mulanya hanya bisa menempuh jarak tertentu, jadi bisa mencapai jarak yang lebih panjang. Pengisian bahan bakar di udara juga berfungsi untuk menambah daya angkut suatu pesawat. Dalam air to air refueling, dikenal dengan dua cara yaitu Sistem Boom and Receiver dan Sistem *Probe and Drogue*. (Lit.3)

2.5.2 Ground Refuelling (pengisian bahan bakar di darat)

Pengisian bahan bakar di darat adalah pengisian bahan bakar yang paling umum dilakukan. Pengisian bahan bakar di darat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan truck tanki dan juga fuel hydrant.



Gambar 2.17 Pengisian Bahan Bakar dengan Truk Tangki
(Sumber : <https://veeone120184.wordpress.com>)

Mengisi bahan bakar dengan truck tanki dilakukan apabila bandara tempat pesawat tersebut parkir tidak memiliki sistem fuel hydrant atau saluran bahan bakar yang dipendam di dalam tanah. Untuk mengisi dengan cara ini, ketika pesawat parkir di apron dan mesin telah dimatikan, maka truk bahan bakar akan bergerak mendekat dan petugas akan mulai melakukan pengisian bakar. Cara pengisian bahan bakar baik menggunakan fuel hydrant ataupun truk tanki, untuk pesawat penumpang transport yang letak sayapnya tinggi, pertama petugas akan mendekatkan ladder atau tangga pengisi bahan bakar pada bagian fuel cap atau penutup tanki bahan bakar yang terdapat pada sayap pesawat.



Gambar 2.18 Pengisian Bahan Bakar dengan Fuel Hydrant
(Sumber : <https://bisnis.tempo.co>)

Kalau pesawat kecil yang fuel capnya ada di atas sayap, maka petugas akan naik ke atas sayap jika sayapnya model high wing, jika sayapnya jenis sayap rendah yang fuel cap nya di atas, maka petugas tidak perlu naik. Setelah petugas membuka fuel cap maka petugas akan memasang bagian ujung fuel hose pipe ke lubang fuel cap kemudian di lock. Setelah itu petugas akan menghidupkan pompa untuk memompa bahan bakar ke pesawat. Pengisian bahan bakar ini tidak sembarangan dan harus didampingi flight dispatcher atau FOO karena berpengaruh terhadap keseimbangan pesawat.

2.6 Sistem Aliran Bahan Bakar

Sistem bahan bakar pesawat berfungsi untuk memberikan aliran *fuel* yang sudah tersaring bersih, dengan aliran yang konstan ke karburator atau FCU (Fuel

Control Unit). Ada dua metode untuk mengalirkan bahan bakar ke karburator atau FCU (Fuel Control Unit) yaitu *Gravity Feed* dan *Pressure Feed*. (Lit.4)

2.6.1 Gravity Feed

Metode gravity feed menggunakan gaya gravitasi untuk mengalirkan bahan bakar ke karburator. Karena itu posisi tangki harus lebih tinggi dari posisi karburator.

2.6.2 Pressure Feed

Metode pressure feed menggunakan pompa untuk menghisap bahan bakar dari tangki ke karburator. Sistem ini diperlukan jika posisi tangki lebih rendah daripada karburator atau posisinya terlalu jauh dari engine.

2.7 Pembuangan Bahan Bakar

Proses pembuangan bahan bakar diperlukan pada pesawat yang ingin membuang bahan bakar dengan tujuan tertentu. Ada dengan tujuan pembersihan tangki untuk perawatan dan keadaan darurat. Ada dua metode dalam pembuangan bahan bakar yaitu *pressure defuel* dan *suction defuel* (Lit.5 Hal.509).

2.7.1 Pressure Defuel

Proses pembuangan dengan cara ini adalah memanfaatkan tekanan dari fuel pump. Tekanan yang dihasilkan fuel pump akan mendorong bahan bakar pada tangki untuk keluar dari tangki tersebut.

2.7.2 Suction Defuel

Proses pembuangan ini memanfaatkan tekanan dari luar baik berupa pompa dari luar sistem bahan bakar itu sendiri. Tekanan yang dihasilkan akan mendorong bahan bakar keluar dari tangki pada pesawat udara.

2.8 Pompa

Pompa adalah suatu peralatan mekanik yang digerakkan oleh suatu sumber tenaga yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat lain, dimana cairan tersebut hanya mengalir apabila terdapat perbedaan tekanan. Pompa juga dapat diartikan sebagai alat untuk memindahkan energi dari suatu pemutar atau penggerak ke cairan ke bejana yang bertekanan yang lebih tinggi. Selain dapat memindahkan cairan, pompa juga berfungsi untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, dan ketinggian cairan.

2.8.1 Jenis-jenis Pompa

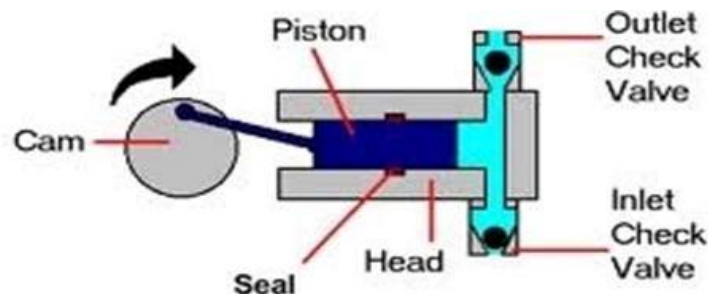
Secara umum pompa dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu

1. Pompa *Positive Displacement*

Pompa *Positive Displacement* bekerja dengan cara memberikan gaya tertentu pada volume fluida tetap dari sisi inlet menuju sisi outlet pompa. Kelebihan dari penggunaan pompa jenis ini adalah dapat menghasilkan *power density* (gaya per satuan berat) yang lebih berat. Dan juga memberikan perpindahan fluida yang tetap atau stabil di setiap putarannya. Macam-macam pompa *Positive Displacement* yaitu:

a) Pompa *Reciprocating*

Pada pompa jenis ini, sejumlah volume fluida masuk ke dalam silinder melalui *valve inlet* pada saat langkah masuk dan selanjutnya dipompa keluar dibawah tekanan positif melalui *valve outlet* pada langkah maju.



Gambar 2.19 Pompa *Reciprocating*
(Sumber : <http://jakartapiranti.com>)

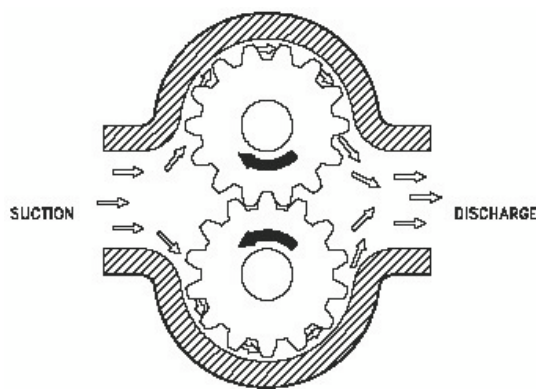
b) Pompa *Rotary*

Pompa *rotary* adalah pompa yang menggerakkan fluida dengan

menggunakan prinsip rotasi. Vakum terbentuk oleh rotasi dari pompa dan selanjutnya menghisap fluida masuk. Pompa *rotary* dapat diklasifikasikan kembali menjadi beberapa tipe, yaitu :

i) *Gear Pumps*

Sebuah pompa *rotary* yang simpel dimana fluida ditekan dengan menggunakan dua roda gigi. Prinsip kerjanya saat antar roda gigi bertemu terjadi penghisapan fluida kemudian berputar dan diakhiri saat roda gigi akan pisah sehingga fluida terlempar keluar.



Gambar 2.20 *Gear Pump*
(Sumber : <https://www.engineersedge.com>)

ii) *Screw Pumps*

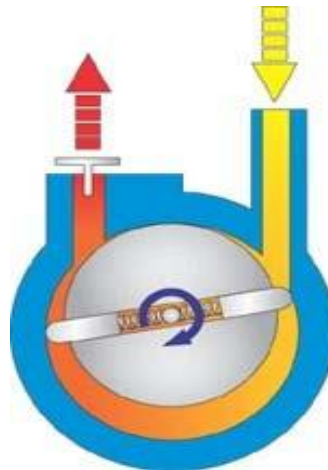
Pompa ini menggunakan dua ulir yang bertemu dan berputar untuk menghasilkan aliran fluida sesuai dengan yang diinginkan. Pompa *screw* ini digunakan untuk menangani cairan yang mempunyai viskositas tinggi, heterogen, sensitif terhadap geseran dan cairan yang mudah berbusa. Cara kerja *screw pumps* adalah zat cair masuk pada lubang isap, kemudian akan ditekan di ulir yang mempunyai bentuk khusus. Dengan bentuk ulir tersebut, zat cair akan masuk ke ruang antara ulir-ulir, ketika ulir berputar, zat cair terdorong ke arah lubang pengeluaran.



Gambar 2.21 *Screw Pump*
(Sumber : <http://candyne.com>)

iii) *Rotary Vane Pumps*

Memiliki prinsip yang sama dengan kompresor *scroll*, yang menggunakan rotor silindrik yang berputar secara harmonis menghasilkan tekanan fluida tertentu. Prinsip kerjanya baling-baling menekan lubang rumah pompa oleh gaya sentrifugal bila motor diputar. Fluida yang terjebak diantara dua bolang-baling dibawa berputar dan dipaksa keluar dari sisi buang pompa.



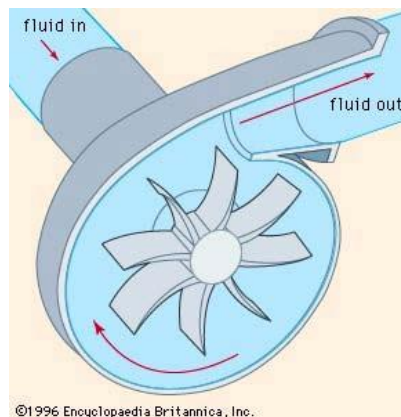
Gambar 2.22 Prinsip *Rotary Vane Pump*
(Sumber : <http://thinfilmscience.com>)

1. *Dynamic Pump*

a) Pompa Sentrifugal (pompa rotor-dinamik)

Pompa sentrifugal merupakan peralatan dengan komponen yang paling sederhana pada pembangkit. Tujuannya adalah mengubah energi penggerak utama

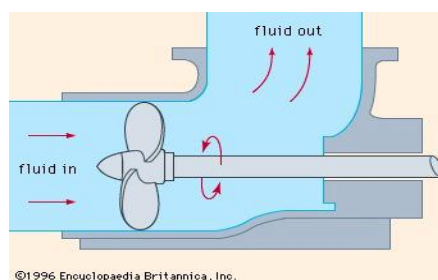
(motor listrik atau turbin) menjadi kecepatan atau energi kinetik dan kemudian energi tekan pada fluida yang sedang dipompakan. Perubahan energi terjadi karena dua bagian utama pompa, *impeller* dan *volute* atau *difuser*. *Impeller* adalah bagian berputar yang mengubah energi dari penggerak menjadi energi kinetik. *Volute* atau *difuser* adalah bagian tak bergerak yang mengubah energi kinetik menjadi energi tekan.



Gambar 2.23 Pompa Sentrifugal
(Sumber : <https://artikel-teknologi.com>)

b) Pompa Aksial

Pompa aksial adalah salah satu pompa yang berfungsi untuk mengalirkan fluida dari potensial rendah ke potensial yang lebih tinggi dengan menggunakan gerak putaran dari *blades* dan mempunyai arah aliran yang sejajar dengan sumbu porosnya. Prinsip kerja pompa aksial adalah energi mekanik yang dihasilkan oleh sumber penggerak ditransmisikan melalui poros *impeller* untuk menggerakkan *impeller* pompa. Putaran *impeller* memberikan gaya aksial yang mendorong fluida sehingga menghasilkan energi kinetik pada fluida kerja tersebut.



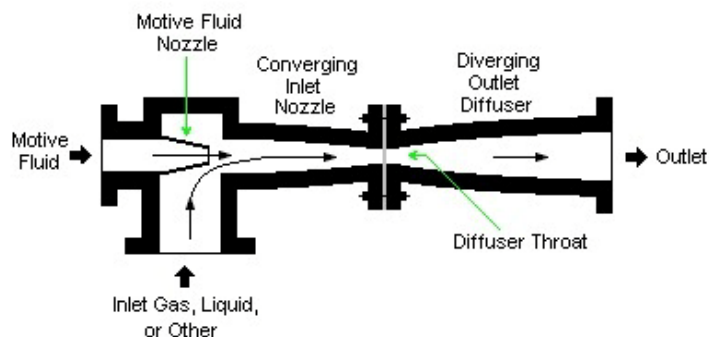
Gambar 2.24 Pompa Aksial
(Sumber : <https://www.tneutron.net>)

c) *Special-Effect Pump*

Pompa jenis ini digunakan pada industri dengan kondisi tertentu. Yang termasuk ke dalam pompa jenis ini yaitu jet (*eductor*), *gas lift*, *hydraulic ram*, dan *electromagnetic*. Pompa *jet-eductor* (*injector*) adalah sebuah alat yang menggunakan efek venturi dari *nozzle* konvergen-divergen untuk mengkonversi energi tekanan dari fluida bergerak menjadi energi gerak sehingga menciptakan area bertekanan rendah, dan dapat menghisap fluida di sisi suction.

i) Pompa *Jet-Eductor* (*injector*)

Pompa *Jet-Eductor* (*injector*) adalah sebuah pompa yang menggunakan efek venturi dan *nozzle* konvergen-divergen untuk mengkonversi energi tekanan dari fluida bergerak menjadi energi gerak sehingga menciptakan area bertekanan rendah, dan dapat menghisap fluida di sisi *suction*. Prinsip kerja pompa *Jet-Eductor* menggunakan *nozzle* yang bekerja sesuai efek venturi sehingga mengkonversi energi tekan pada fluida menjadi energi gerak dan sisi *suction* (hisap) bertekanan rendah dan sehingga fluida dapat mengalir.



Gambar 2.25 Pompa Injector
(Sumber : <http://keluargasepuh86.blogspot.com>)

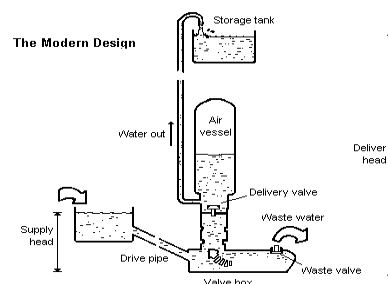
ii) *Gas Lift Pump*

Gas Lift Pump adalah salah satu bentuk sistem pengangkatan buatan yang lazim digunakan untuk mengangkut fluida dari sumur-sumur minyak bumi. Sistem ini bekerja dengan cara menginjeksikan gas bertekanan tinggi kedalam anulus (ruang antara *tubing* dan *casing*), dan kemudian kedalam *tubing* produksi sehingga terjadi proses aerasi (*aeration*) yang mengakibatkan berkurangnya berat

kolom fluida dan *tubing*. Sehingga tekanan reservoir mampu mengalirkan fluida dari lubang sumur menuju fasilitas produksi dipermukaan.

iii) Pompa *Hydraulic Ram*

Pompa *Hydraulic Ram* adalah pompa air siklik dengan menggunakan tenaga hidro (*hydropower*). Prinsip kerja dari *Hydraulic Ram* adalah dengan menggunakan energi kinetik dari cairan dan energi tersebut diubah menjadi energi tekan dengan memberikan tekanan dengan tiba-tiba.



Gambar 2.26 Pompa *Hydraulic Ram*
(Sumber : <http://cosinustangen.blogspot.com>)

iv) Pompa Elektromagnetik

Pompa Elektromagnetik adalah pompa yang menggerakkan fluida logam dengan jalan menggunakan gaya elektromagnetik. Prinsip kerjanya menggerakkan fluida dengan gaya elektromagnetik yang disebabkan medan magnetik yang dialirkan.



Gambar 2.27 Pompa Elektromagnetik
(Sumber : <https://www.aliexpress.com>)

2.9 Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa adalah banyaknya cairan yang dapat dipindahkan oleh pompa setiap satuan waktu . Dinyatakan dalam satuan volume per satuan waktu, seperti *Barel per day* (BPD), *Gallon per minute* (GPM) dan *Cubic meter per hour* (m³/hr).

2.9.1 Head Pompa

Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Menurut persamaan Bernauli, ada tiga macam head (energi) fluida dari sistem instalasi aliran, yaitu, energi tekanan, energi kinetik dan energi potensial.

Karena energi itu kekal, maka bentuk head (tinggi tekan) dapat bervariasi pada penampang yang berbeda. Namun pada kenyataannya selalu ada rugi energi (*losses*). Pada kondisi yang berbeda seperti pada gambar di atas maka persamaan Bernoulli adalah sebagai berikut :

a. *Head* Tekanan

Head tekanan adalah perbedaan head tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi tekan dengan head tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi isap.

b. *Head* Kecepatan

Head kecepatan adalah perbedaan antar head kecepatan zat cair pada saluran tekan dengan head kecepatan zat cair pada saluran isap.

c. *Head* Statis Total

Head statis total adalah perbedaan tinggi antara permukaan zat cair pada sisi tekan dengan permukaan zat cair pada sisi isap.

d. Kerugian *head* (*head loss*)

Kerugian energi per satuan berat fluida dalam pengaliran cairan dalam sistem perpipaan disebut sebagai kerugian *head* (*head loss*). *Head loss* terdiri dari :

1. **Mayor head loss (mayor losses)**

Merupakan kerugian energi sepanjang saluran pipa, diantaranya:

(i) **Koefisien kerugian gesek untuk pipa aliran laminar**

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.1, \text{Lit.6, Hal. 29})$$

di mana λ : Koefisien kerugian gesek

Re : Bilangan Reynolds (tak berdimensi)

$$Re = \frac{V d}{\nu} \quad (2.2, \text{Lit.6, Hal. 28})$$

di mana V : Kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

ν : viskositas ($\nu = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) (Lit.8, Hal. 15)

d : Diameter dalam pipa (m)

(ii) **Kerugian gesek dalam pipa**

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.3, \text{Lit.6, Hal 28})$$

di mana h_f : Head kerugian gesek dalam pipa (m)

λ : Koefisien kerugian gesek

L : Panjang pipa (m)

D : Diameter dalam pipa (m)

V : Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa

g : Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

2. **Minor head loss (minor losses)**

Merupakan kerugian *head* pada *fitting* dan *valve* yang terdapat sepanjang sistem perpipaan. Ada banyak jenisnya, diantaranya:

(i) **Kerugian pembesaran penampang**

$$h_f = f \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad (f \approx 1) \quad (2.4, \text{Lit.6, Hal. 36})$$

di mana h_f : kerugian head (m)

f : Koefisien kerugian

V_1 : Kecepatan rata-rata di penampang yang kecil (m/s)

V_2 : Kecepatan rata-rata di penampang yang besar (m/s)

g : Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Dimana koefisien kerugian elbow dapat dihitung berdasarkan rumus dibawah ini.

$$f = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\Theta}{90} \right)^{0,5} \quad (2.5, \text{ Lit 7, Hal. 34})$$

di mana f : Koefisien kerugian

D : Diameter dalam pipa (m)

R : Jari-jari lengkung sumbu belokan (m)

Θ : Sudut belokan (derajat)

Sedangkan untuk menghitung kerugian belokan/jalur pipa dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini.

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \quad (2.6, \text{ Lit.6, Hal. 32})$$

di mana h_f : kerugian head (m)

f : Koefisien kerugian

V : Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa

g : Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Dimana diketahui koefisien kerugian tee dan valve

$$f_{tee} = 0,27 \text{ \& } f_{valve} = 0,3 \quad (\text{Lit.9})$$

3. Total Losses

Total losses merupakan kerugian total dari sistem perpipaan.

4. Head Total Pompa

Head total pompa yang harus disediakan untk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa. Head total pompa dapat ditulis sebagai berikut

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v_a^2}{2g} \quad (\text{Lit 6, Hal.26})$$

dimana H : Head total pompa (m)

h_a : Head statis total (m)

Δh_p : Perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)

h_l : Berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan dll (m)

$\frac{v_d^2}{2g}$: Head kecepatan keluar (m)

g : Percepatan gravitasi ($= 9,8 \text{ m/s}^2$)

5. Daya Pompa

Energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa per satuan waktu disebut daya, yang dapat ditulis sebagai

$$P = \gamma QH \quad (\text{Lit 6, Hal.53})$$

dimana γ : Berat jenis air per satuan volume ($\gamma_{air} = 1000 \text{ kg/m}^3$)

Q = Kapasitas (m^3/min)

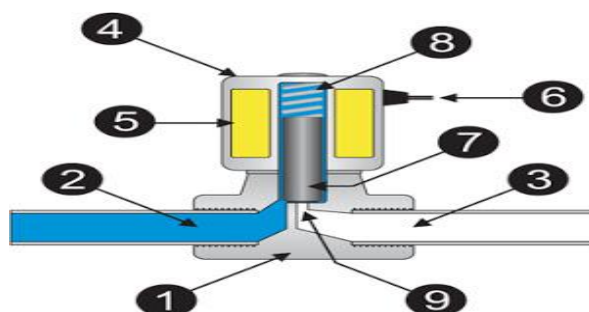
H = Head total pompa (m)

P = Daya (kW)

2.10 Katup Solenoid

Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik baik AC maupun DC melalui kumparan / selenoida. *Solenoid* valve ini merupakan elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem fluida. Seperti pada sistem pneumatik, sistem hidrolik ataupun pada sistem kontrol mesin yang membutuhkan elemen kontrol otomatis.

2.10.1 Bagian-bagian Katup Solenoid



Gambar 2.28 Bagian-bagian Katup Solenoid
(Sumber : <http://www.insinyoer.com>)

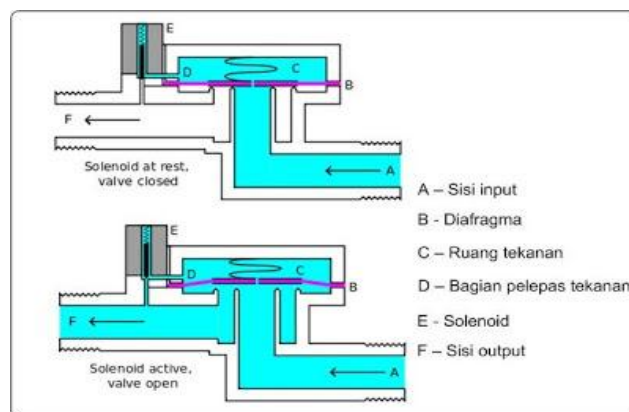
Keterangan nomor pada gambar :

1. Valve Body

2. Terminal masukan (*Inlet Port*)
3. Terminal keluaran (*Outlet Port*)
4. *Coil* / Koil *solenoid*
5. Kumparan gulungan
6. Kabel suplai tegangan
7. *Plunger*
8. *Spring*
9. Lubang / *exhaust*

2.10.2 Prinsip Kerja

Solenoid valve akan bekerja bila kumparan/*coil* mendapatkan tegangan arus listrik yang sesuai dengan tegangan kerja (kebanyakan tegangan kerja *solenoid valve* adalah 100/200 VAC dan kebanyakan tegangan kerja pada tegangan DC adalah 12/24 VDC). Dan sebuah pin akan tertarik karena gaya magnet yang dihasilkan dari kumparan selenoida tersebut. Dan saat pin tersebut ditarik naik maka fluida akan mengalir dari ruang C menuju ke bagian D dengan cepat. Sehingga tekanan di ruang C turun dan tekanan fluida yang masuk mengangkat diafragma. Sehingga katup utama terbuka dan fluida mengalir langsung dari A ke F.



Gambar 2.29 Prinsip Kerja Katup Solenoid
(Sumber : <http://www.kitomaindonesia.com>)

2.11 Check Valve

Check Valve adalah alat (*valve*) yang digunakan untuk mengatur fluida(gas,cair) hanya mengalir ke satu arah saja dan mencegah aliran ke arah sebaliknya (*backflow*). *Check Valve* tidak menggunakan handel untuk mengatur aliran, tapi menggunakan gravitasi dan tekanan dari aliran fluida itu sendiri.

2.11.1 Jenis-jenis Check Valve

Berikut 6 jenis check valve yang sering kita temui di industri dan sistem perpipaan:

1. Lift Check Valve

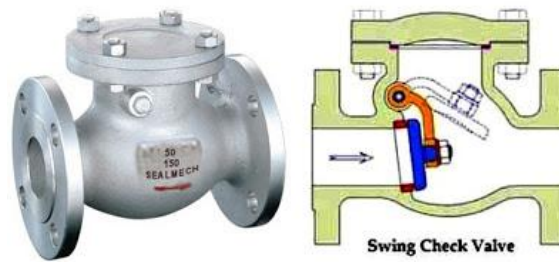


Gambar 2.30 Lift Check Valve
(Sumber : <http://www.cnzahid.com>)

Jika diamati dari konfigurasinya, *check valve* ini sepintas sangat mirip dengan *Globe Valve*, namun yang membedakannya adalah putarannya, pada *Globe Valve* putaran *valve* atau *disk* dapat dimanipulasi, sedangkan untuk *Lift Check Valve* hal tersebut tidak dapat dilakukan. Sisi *inlet* dan *outlet* pada *Lift Check Valve* dipisahkan oleh sebuah *plug* berbentuk kerucut dan terletak pada sebuah dudukan, umumnya *plug* ini materialnya terbuat dari logam.

Fungsi *plug* ialah saat terjadi aliran maju pada *inlet*, maka *plug* tersebut akan terdorong oleh tekanan aliran fluida, sehingga fluida tersebut akan menuju ke sisi *outlet*. Sedangkan bila terjadi aliran balik (*back flow*), maka *plug* tersebut akan menutup, semakin besar tekanan yang ditimbulkan oleh aliran balik, semakin rapat pula *plug* tersebut pada dudukannya.

2. Swing Check Valve



Gambar 2.31 *Swing Check Valve*
(Sumber : <https://www.ferguson.com>)

Valve jenis ini memiliki *disk* yang ukurannya sama dengan diameter pipa, *disk* atau penampang tersebut dirancang menggantung pada bagian atas, berbeda dengan *lift check valve*. Prinsip kerjanya sama saja dengan *lift check valve*, yaitu saat terjadi aliran maju, maka *disk* tersebut akan terbuka dan sebaliknya

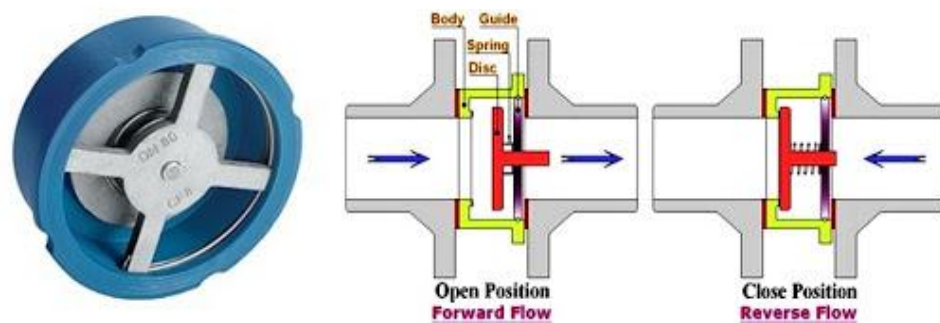
3. *Backwater Check Valve*



Gambar 2.32 *Backwater Check Valve*
(Sumber : <http://backwatervalve.com>)

Mungkin jenis *valve* yang satu ini sangat sering ditemui di sekitar kita, karena *backwater valve* digunakan untuk sistem pembuangan air bawah tanah. Mungkin sebagian dari Anda menggunakan *valve* jenis ini di kamar mandi rumah. Fungsi utama dari *backwater valve* yaitu untuk mencegah terjadinya aliran balik air pada saluran pembuangan ketika terjadi banjir. Seperti yang kita ketahui, saat terjadi banjir saluran pembuangan akan dipenuhi oleh air sehingga tekanannya pun semakin tinggi dan dapat menyebabkan aliran balik. Dengan menggunakan *backwater valve*, banjir yang disebabkan oleh aliran balik dapat diatasi.

4. *Disc Check Valve*



Gambar 2.33 *Disk Check Valve*
(Sumber : <http://www.cnzahid.com>)

Disk Check Valve terdiri atas *body*, *spring*, *spring retainer* dan *disc*. Prinsip kerjanya adalah saat terjadi *forward flow*, maka disk akan didorong oleh tekanan fluida dan mendorong *spring* sehingga ada celah yang menyebabkan aliran fluida dari *inlet* menuju *outlet*. Sebaliknya apabila terjadi *reverse flow*, tekanan fluida akan mendorong disk sehingga menutup aliran fluida.

Perbedaan tekanan diperlukan untuk membuka dan menutup *valve* jenis ini ditentukan oleh jenis *spring* yang digunakan. Selain *spring* standar, tersedia juga beberapa pilihan *spring* yang tersedia:

- a) *No spring* - Digunakan di mana perbedaan tekanan di *valve* kecil.
- b) *Nimonic spring* - Digunakan dalam aplikasi suhu tinggi.
- c) *Heavy duty spring* - Hal ini meningkatkan tekanan pembukaan yang diperlukan. Bila dipasang pada *line boiler water feed*, dapat digunakan untuk mencegah uap *boiler* dari banjir ketika mereka *unpressurised*.

5. *Swing Type Disk Check Valve*



Gambar 2.34 *Swing Check Valve*
(Sumber : <https://www.cla-val.com>)

Dalam penggunaan *Swing Check Valve* dan *Lift Check Valve* terbatas hanya untuk pipa ukuran besar (diameter DN80 atau lebih). jadi sebagai solusinya adalah dengan menggunakan *Disk Check Valve*. Dengan menggunakan *Disk Check Valve* dapat digunakan *tubing* dengan ukuran yang mengerucut pada satu sisinya sehingga dapat diaplikasikan pada pipa yang lebih kecil ukurannya.

6. *Split Disc Check Valve*



Gambar 2.35 *Split Disc Check Valve*
(Sumber : <http://www.cnzahid.com>)

Split Disc Check Valve terdiri dari disk yang bagian tengahnya merupakan poros yang memungkinkan disk bergerak seolah terbagi dua bila didorong dari arah yang benar (*forward flow*) dan menutup rapat bila ditekan dari arah yang salah (*reverse flow*).

2.11.2 Cara Kerja *Check Valve*

Check valve sejatinya berfungsi untuk mengalirkan fluida secara searah dengan tujuan untuk menghindari terjadinya aliran balik (*back flow*). Cara kerja *check valve* dapat digambarkan sebagai berikut, ketika laju aliran fluida sesuai dengan arahnya, laju aliran tersebut akan membuat *plug* atau *disk* membuka. Jika ada tekanan yang datang dari arah berlawanan, maka *plug* atau disk tersebut akan menutup.

2.12 Perencanaan Rangka

Perancangan rangka dimulai dengan menentukan berat masing-masing komponen yang membebani rangka. Berat komponen dapat dihitung dengan cara :

$$W = m \cdot g \quad (2.8, \text{Lit } 11)$$

Setelah berat komponen didapatkan, hitung momen inersia, titik berat dan momen maksimum suatu benda, dan tegangan tarik izin suatu bahan. Suatu rangka dikatakan bisa menahan beban apabila tegangan tarik izin nya lebih rendah dari tegangan Tarik maksimumnya.

2.13 Spesifikasi Bahan

Spesifikasi bahan diperlukan untuk mengetahui beban yang ditopang rangka serta kemampuan dari rangka tersebut. Berikut data mengenai massa jenis dan kekuatan tarik.

2.13.1 Massa Jenis

Berikut tabel massa jenis benda yang didapat dari berbagai sumber.

Tabel 2.2 Massa Jenis Benda

No	Benda	Massa Jenis (ρ)	Sumber
1	Air	1000 kg/m^3	(Lit.11)
2	Kaca	2579 kg/m^3	(Lit.11)
3	Plywood	600 kg/m^3	(Lit.12)

2.13.2 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik (tensile strength, ultimate tensile strength) adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah (Lit.17). Tegangan tarik maksimum Hollow Steel = $723,83 \text{ N/mm}^2$ (Lit.10).

2.14 Faktor Keamanan (Safety Factor)

Faktor Keamanan (Safety factor) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum (Lit.14). Berikut tabel faktor keamanan pada setiap bahan dan kondisi.

Tabel 2.3 Angka Faktor Keamanan
(Sumber : Lit.13)

<i>Material</i>	<i>Steady load</i>	<i>Live load</i>	<i>Shock load</i>
Cast iron	5 to 6	8 to 12	16 to 20
Wrought iron	4	7	10 to 15
Steel	4	8	12 to 16
Soft materials and alloys	6	9	15
Leather	9	12	15
Timber	7	10 to 15	20