

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Setiap Bandar Udara yang telah memiliki izin operasi wajib menyediakan fasilitas Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK) serta memberikan pelayanan PKP-PK sesuai dengan kategori bandar udara untuk PKP-PK yang dipersyaratkan.

Pelayanan PKP-PK dilaksanakan secara cepat dan tepat untuk penyelamatan pertolongan kecelakaan penerbangan serta pemadaman kebakaran di bandar udara dan sekitarnya.

2.2 Jenis dan Persyaratan Kendaraan PKP-PK

Pada setiap Bandar udara harus disediakan kendaraan PKP-PK yang jumlah dan jenisnya disesuaikan dengan jumlah bahan pemadam api yang dipersyaratkan pada kategori bandara untuk PKP-PK, adapun kategorinya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kategori Bandar Udara untuk kendaraan PKP-PK

Kategori Bandara untuk PKP-PK	Panjang Pesawat Udara (meter)	Lebar Maximum Badan Pesawat Udara (meter)
1	<9	2
2	9 s/d <12	2
3	12 s/d <18	3
4	18 s/d <24	4
5	24 s/d <28	4
6	28 s/d <39	5
7	39 s/d <49	5
8	49 s/d <61	7
9	61 s/d <76	7
10	76 s/d <90	8

Sumber : KP. 547 Tahun 2015 Direktorat Jenderal Perhubungan Udara

Untuk Bandar Udara Internasional Kualanamu masuk dalam ketegori 9. Apabila Kendaraan PKP-PK rusak atau tidak beroperasi dapat menyebabkan penurunan kategori bandar udara untuk kendaraan PKP-PK, sehingga apabila terjadi kerusakan, kendaraan harus segera diperbaiki. Jenis kendaraan PKP-PK dikelompokkan antara lain :

a. *Foam Tender*, terdiri dari :

1. *Foam Tender* Tipe I dengan kapasitas tangki air ≥ 10.000 liter dan tangki *foam konsentrat* minimum 1.200 liter, akselerasi 80 km/jam dalam 40 detik, kecepatan minimum 100 km/jam dan jarak pancaran minimum 70 meter.
2. *Foam Tender* Tipe II dengan kapasitas tangki air 9.000 liter dan tangki foam konsentrat minimum 1.100 liter, tepung kimia 500 kg, akselerasi 80 km/jam dalam 40 detik, kecepatan minimum 100 km/jam dan jarak pancaran minimum 70 meter.

3. *Foam Tender* Tipe III dengan kapasitas tangki air 6.000 liter dan tangki *foam konsentrat* minimum 800 liter, tepung kimia 250 kg akselerasi 80 km/jam dalam 25 detik, kecepatan maksimum 105 km/jam dan jarak pancaran minimum 65 meter.
 4. *Foam Tender* Tipe IV dengan kapasitas tangki air 4.000 liter dan tangki *foam konsentrat* 500 liter, tepung kimia 250 kg, akselerasi 80 km/jam dalam 25 detik, kecepatan maksimum 105 km/jam dan jarak pancaran minimum 60 meter.
 5. *Foam Tender* Tipe V dengan kapasitas tangki air 2.400 liter dan tangki *foam konsentrat* 300 liter, tepung kimia 250 kg, akselerasi 80 km/jam dalam 25 detik, kecepatan maksimum 105 km/jam dan jarak pancaran minimum 60 meter.
 6. *Foam Tender* Tipe VI dengan kapasitas tangki air 1.200 liter dan tangki *foam konsentrat* 200 liter, tepung kimia 250 kg, akselerasi 80 km/jam dalam 25 detik, kecepatan maksimum 110 km/jam dan jarak pancaran minimum 20 meter.
- b. *Rapid Intervention Vehicle*, kapasitas tepung kimia (dry chemical powder) minimum 250 kg, akselerasi 80 km/jam dalam 40 detik, kecepatan maksimum 110 km/jam.
 - c. *Resque boat*, dilengkapi dengan pemadam *foam* dan peralatan pertolongan di perairan seperti petunjuk arah, alat pemantau kedalaman, binokular, radio komunikasi dan lain-lain.

Yang akan dibahas dalam skripsi ini yaitu Mobil Pemadam Kebakaran jenis *Foam Tender* Type I.

2.3. Bahan Pemadam Api

Bahan pemadam api utama yang digunakan untuk PKP-PK antara lain *protein foam*, *aqueous film forming foam (AFFF)*, *fluoro protein foam*, *film forming fluoro protein (FFFP)*, *synthetic foams* dan air (*water*).

Busa (*foam*) yang dipergunakan sebagai bahan pemadam api utama harus memenuhi syarat yaitu dapat berfungsi untuk menyelimuti bahan yang mudah menguap dan mudah terbakar sehingga mencegah kontak dengan oksigen, dapat mengalir bebas diatas permukaan bahan bakar, tahan terhadap tiuan angin/panas serta dapat membentuk dan melapisi kembali. Foam konsentrat yang di isi dalam tangki harus di uji kualitasnya setiap 6 bulan sekali sesuai dengan cara yang ditetapkan pada *DOC. ICAO 9137-AN/988 part 1* atau cara lain yang diakui dan pengujian tersebut dilakukan oleh Direktur Jenderal Perhubungan Udara atau pejabat yang ditunjuk.

Bahan pemadam yang telah diisi pada kendaraan PKP-PK dan kualitasnya tidak sesuai harus diganti, bahan yang kadaluarsa dapat digunakan untuk latihan simulasi kebakaran. Penyimpanan dan pemeliharaan serta spesifikasi bahan pemadam harus sesuai dengan aturan prosedur yang berlaku yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

Setiap tangki bahan pemadam api dalam kendaraan PKP-PK setelah dipergunakan harus segera di isi penuh kembali sesuai kapasitasnya sedangkan untuk *foam konsentrat* sebelum di isi harus selalu di cuci/dibilas dengan air.

2.4 Perawatan Fasilitas PKP-PK

Setiap Bandara harus melengkapi SOP (*Standar Operation Procedure*) baik perawatan maupun pengoperasian kendaraan PKP-PK dan perlengkapan/fasilitas *maintenance* kendaraan sesuai dengan kebutuhannya. Perawatan Mekanik harus dilakukan oleh teknisi

PKP-PK yang terdidik dan memiliki sertifikat kecakapan sesuai dengan jenis kendaraan dan berpedoman pada SOP tersebut.

Adapun Parameter yang harus di uji yaitu :

- a. Rata-rata pancaran
- b. Jangkauan pancaran
- c. Akselerasi
- d. Response Time
- e. Maksimum kecepatan
- f. Jarak Pengereman

Kendaraan PKP-PK yang keandalannya sudah tidak memenuhi syarat dan telah berumur lebih dari 15 tahun harus dilakukan penggantian.

Dalam rangka pelaksanaan pertolongan kecelakaan penerbangan dan pemadam kebakaran di perlukan kendaraan yang laik beroperasi, oleh karena itu harus selalu diperhatikan *performance* atau kehandalan dari kendaraan dan fasilitas mobil PKP-PK seperti, pompa, *nozel*, *turret* (pemancar air) dan fasilitas lainnya sesuai dengan standar teknis dari Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

2.5. Pompa Sentrifugal

Pompa merupakan alat angkut yang berfungsi untuk memindahkan zat cair melalui saluran tertutup. Pompa menghasilkan suatu tekanan yang sifatnya hanya mengalir dari suatu tempat ke tempat yang bertekanan lebih rendah. Berdasarkan kenyataan tersebut maka pompa harus mampu membangkitkan tekanan fluida sehingga dapat mengalir atau berpindah. Fluida yang dipindahkan adalah fluida inkompresibel atau fluida yang tidak

dapat dimanfaatkan. Dalam kondisi tertentu pompa dapat digunakan untuk memindahkan zat padat yang berbentuk bubuk atau tepung.

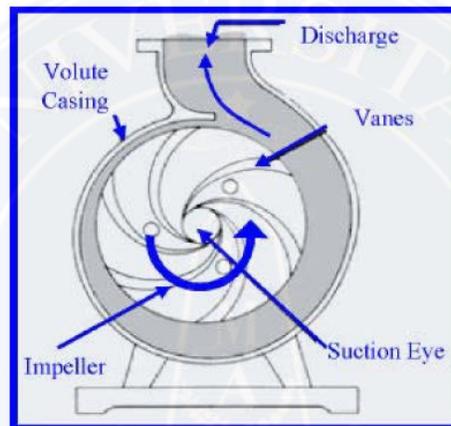
Prinsip kerja pompa adalah menghisap dan melakukan penekanan terhadap fluida. Pada sisi hisap (*suction*) elemen pompa akan menurunkan tekanan dalam ruang pompa sehingga akan terjadi perbedaan tekanan antara ruang pompa dengan permukaan fluida yang dihisap, akibatnya fluida akan mengalir ke ruang pompa. Oleh elemen pompa fluida ini akan didorong atau diberikan tekanan sehingga fluida akan mengalir ke dalam saluran tekan (*discharge*) melalui lubang tekan. Proses kerja ini akan berlangsung terus selama pompa beroperasi.

Pompa yang dipergunakan sebelumnya harus diketahui karakteristik pada kondisi kerja yang berbeda, dengan demikian dapat ditentukan batas-batas kondisi kerja dimana pompa tersebut bisa mencapai efisiensi maksimum. Hal ini perlu dilakukan karena pada kenyataannya sangat sulit memastikan performa pompa pada kondisi kerja yang sebenarnya. Sedangkan pompa sentrifugal adalah suatu mesin kinetis yang mengubah energi mekanik ke dalam energi hidrolis melalui aktivitas sentrifugal yaitu tekanan fluida yang sedang dipompa. Selain itu pompa sentrifugal merupakan salah satu alat industri yang sederhana tapi sangat diperlukan.

2.6 Kerja Pompa Sentrifugal

Pompa digerakkan oleh motor, daya dari motor diberikan kepada poros pompa untuk memutar *impeller* yang dipasangkan pada poros tersebut. Zat cair yang ada dalam *impeller* akan ikut berputar karena dorongan sudu-sudu. Karena timbulnya gaya sentrifugal, maka zat cair mengalir dari tengah *impeller* keluar melalui saluran diantara sudu dan meninggalkan *impeller* dengan kecepatan yang tinggi. Zat cair yang keluar dari *impeller* dengan kecepatan

tinggi ini kemudian mengalir melalui saluran yang penampangnya makin membesar (*volute/diffuser*), sehingga terjadi perubahan dari *head* kecepatan menjadi *head* tekanan. Maka zat cair yang keluar dari flens keluar pompa *head totalnya* bertambah besar. Pengisapan terjadi karena setelah zat cair dilemparkan oleh *impeller*, ruang diantara sudu-sudu menjadi vakum sehingga zat cair akan terhisap masuk. Selisih energi per satuan berat atau *head total* dari zat cair pada flens keluar (tekan) dan flens masuk (isap) disebut *head total* pompa.



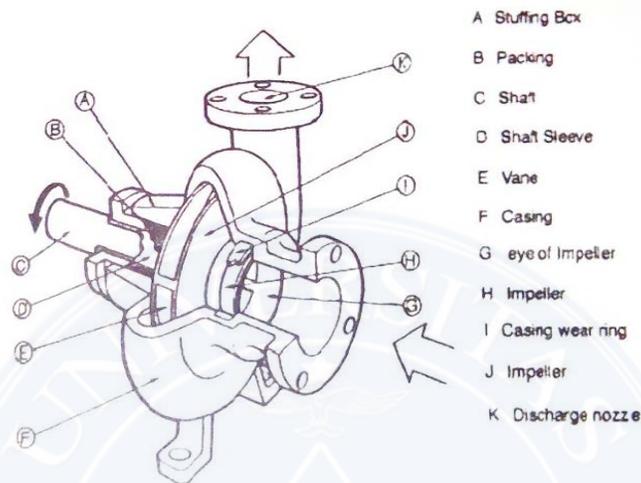
Gambar 2.1 Lintasan aliran cairan pompa sentrifugal

Impeller yaitu bagian dari pompa yang berputar yang mengubah tenaga mesin ke tenaga kinetik. *Volute* yaitu bagian dari pompa yang diam yang mengubah tenaga kinetik ke bentuk tekanan.

Pompa sentrifugal bekerja dengan cara sebagai berikut:

- a. Cairan dipaksa menuju sebuah *impeller* oleh tekanan atmosfer, atau dalam hal ini *jet pump* oleh tekanan buatan.
- b. Baling-baling *impeller* meneruskan energi kinetik ke cairan, sehingga menyebabkan cairan berputar. Cairan meninggalkan *impeller* pada kecepatan tinggi.

- c. *Impeller* dikelilingi oleh *volute casing* atau dalam hal pompa turbin digunakan cincin *diffuser stasioner*. *Volute* atau cincin *diffuser stasioner* berfungsi mengubah energi kinetik menjadi energi tekanan.



Gambar 2.2 Bagian – bagian pompa sentrifugal

Keterangan:

A. *Stuffing Box*

Stuffing box berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus *casing*.

B. *Packing*

Packing digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari *casing* pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari *asbes* atau *teflon*.

C. *Shaft* (poros)

Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan sebagai tempat kedudukan *impeller* dan bagian-bagian berputar lainnya.

D. *Shaft Sleeve*

Shaft sleeve berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada *stuffing box*.

E. *Vane*

Vane merupakan sudu dari *impeller* sebagai tempat berlalunya cairan pada *impeller*.

F. *Casing*

Casing merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan *diffuser (guide vane)*, *inlet* dan *outlet nozzle* serta tempat memberikan arah aliran *impeller* dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (*single stage*).

G. *Eye of Impeller*

Bagian sisi masuk pada arah isap *impeller*.

H. *Impeller*

Impeller berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus-menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

Impeller merupakan cakram bulat dari logam dengan lintasan untuk aliran fluida yang sudah terpasang. *Impeller* biasanya terbuat dari perunggu, polikarbonat, besi tuang atau *stainless steel*, namun bahan-bahan lain juga digunakan. Sebagaimana kinerja pompa tergantung pada jenis *impellernya*, maka penting untuk memilih rancangan yang cocok dan mendapatkan *impeller* dalam kondisi yang baik. Jumlah *impeller* menentukan jumlah tahapan pompa. Pompa satu tahap memiliki satu

impeller dan sangat cocok untuk *head* rendah. Pompa dua tahap memiliki dua *impeller* yang terpasang secara seri untuk *head* sedang. Pompa multi – tahap memiliki tiga *impeller* atau lebih terpasang seri untuk *head* tinggi.

I. *Wearing Ring*

Wearing ring berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan *impeller* maupun bagian belakang *impeller* dengan cara memperkecil celah antara *casing* dengan *impeller*.

J. *Bearing*

Bearing (bantalan) berfungsi sebagai tumpuan dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban axial. *Bearing* juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya sehingga kerugian gesek menjadi kecil.

K. *Discharge Nozzle*

Discharge Nozzle berfungsi untuk mengeluarkan cairan dari *impeller*. Di dalam *nozel* ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan.

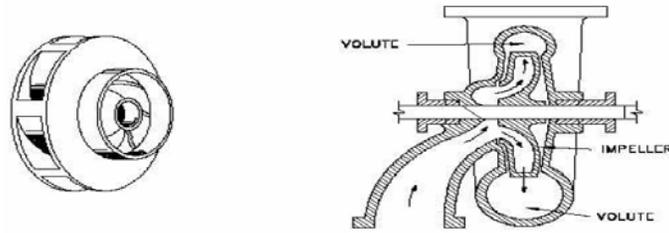
2.7. Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal diklasifikasikan menurut beberapa cara yaitu:

1. Menurut jenis aliran dalam *impeller*

a. Pompa aliran radial

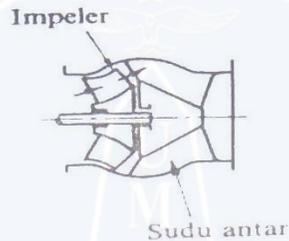
Pompa ini mempunyai konstruksi sedemikian sehingga aliran zat cair yang keluar dari *impeller* akan tegak lurus poros pompa (arah radial).



Gambar 2.3 Pompa aliran radial

b. Pompa aliran campur

Aliran zat cair didalam pompa waktu meninggalkan *impeller* akan bergerak sepanjang permukaan kerucut (miring) sehingga komponen kecepatan berarah radial dan aksial.

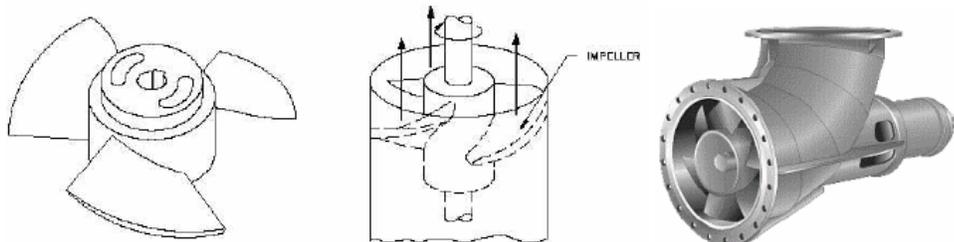


Gambar 2.4 Pompa sentrifugal aliran campur

Sumber : Sularso, "Pompa dan Kompresor", 1994, hal. 8

c. Pompa aliran aksial

Aliran zat cair yang meninggalkan *impeller* akan bergerak sepanjang permukaan silinder (arah aksial).

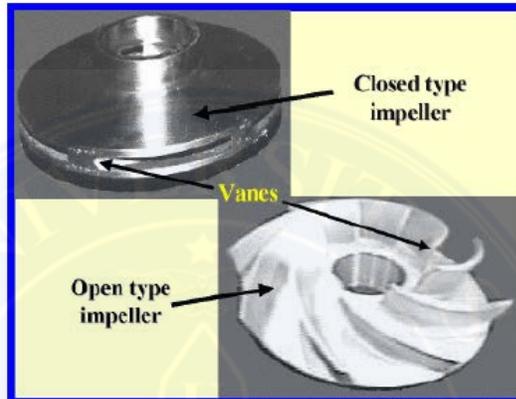


Gambar 2.5 Pompa aliran aksial

2. Menurut jenis impeller

a. *Impeller* tertutup

Sudu-sudu ditutup oleh dua buah dinding yang merupakan satu kesatuan, digunakan untuk pemompaan zat cair yang bersih atau sedikit mengandung kotoran.



Gambar 2.6 *Impeller* tertutup dan terbuka

b. *Impeller* setengah terbuka

Impeller jenis ini terbuka di sebelah sisi masuk (depan) dan tertutup di sebelah belakangnya. Sesuai untuk memompa zat cair yang sedikit mengandung kotoran, misalnya : air yang mengandung pasir, zat cair yang mengauskan dan lain-lain.

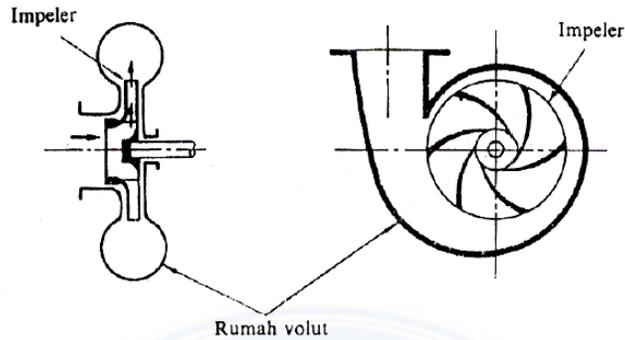
c. *Impeller* terbuka

Impeller jenis ini tidak ada dindingnya di depan maupun belakang. Bagian belakang ada sedikit dinding yang disisakan untuk memperkuat sudu. Jenis ini banyak digunakan untuk pemompaan zat cair yang banyak mengandung kotoran.

3. Menurut bentuk rumah

a. Pompa *volute*

Bentuk rumah pompanya seperti rumah keong/ siput (*volute*), sehingga kecepatan aliran keluar bisa dikurangi dan dihasilkan kenaikan tekanan.

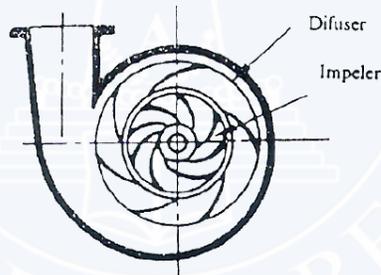


Gambar 2.7 Pompa volut

Sumber : Sularso, "Pompa dan Kompresor", 1994, hal. 7

b. Pompa *diffuser*

Pada keliling *impeller* dipasang sudu *diffuser* sebagai pengganti rumah keong.



Gambar 2.8 Pompa diffuser

Sumber : Sularso, "Pompa dan Kompresor", 1994, hal. 8

c. Pompa aliran campur jenis *volute*

Pompa ini mempunyai *impeller* jenis aliran campur dan sebuah rumah *volute*.

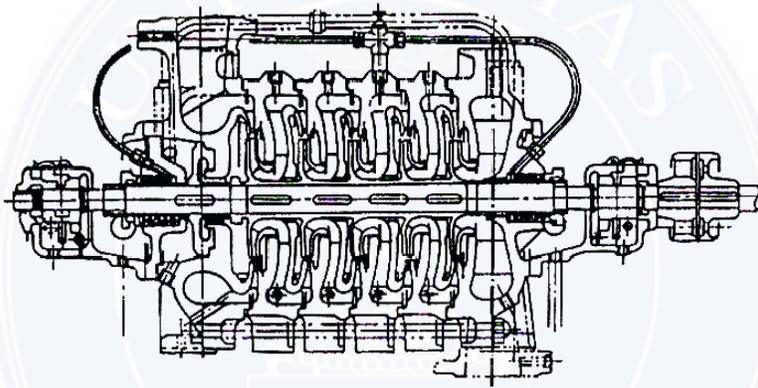
4. Menurut jumlah tingkat

a. Pompa satu tingkat

Pompa ini hanya mempunyai satu *impeller*. *Head total* yang ditimbulkan hanya berasal dari satu *impeller*, jadi relatif rendah.

b. Pompa bertingkat banyak

Pompa ini menggunakan beberapa *impeller* yang dipasang secara berderet (seri) pada satu poros. Zat cair yang keluar dari *impeller* pertama dimasukkan ke *impeller* berikutnya dan seterusnya hingga *impeller* terakhir. *Head total* pompa ini merupakan jumlah dari *head* yang ditimbulkan oleh masing-masing *impeller* sehingga relatif tinggi.



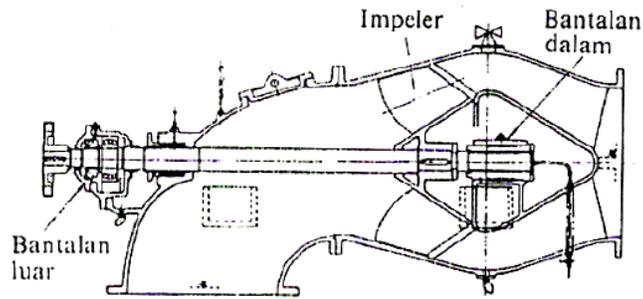
Gambar 2.9 Pompa bertingkat banyak (*multistage*)
Sumber : Sularso, “Pompa dan Kompresor”, 1994, hal. 78

5. Menurut letak poros

Menurut letak porosnya, pompa dapat dibedakan menjadi poros horizontal dan poros vertikal yaitu:

a. Pompa poros horizontal

Pompa ini mempunyai poros dengan posisi horizontal seperti yang terlihat pada gambar 2.10. Pompa jenis ini memerlukan tempat yang *relative* lebih luas.

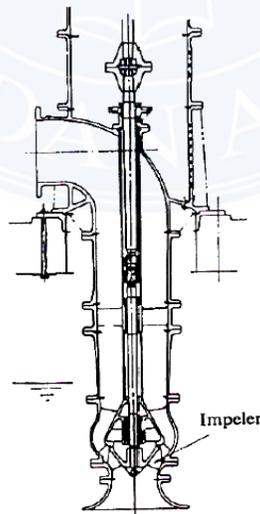


Gambar 2.10 Pompa dengan poros horizontal

Sumber : Sularso, "Pompa dan Kompresor", 1994, hal. 76

b. Pompa poros vertikal

Poros pompa ini berada pada posisi vertikal, seperti terlihat pada gambar 2.11. Poros ini dipegang di beberapa tempat sepanjang pipa kolom utama bantalan. Pompa ini memerlukan tempat yang *relative* kecil dibandingkan dengan pompa poros mendatar. Penggerak pompa umumnya diletakkan di atas pompa.



Gambar 2.11 Pompa dengan poros vertikal

Sumber : Sularso, "Pompa dan Kompresor", 1994, hal. 78

2.8. Hukum Kekekalan Massa

Aliran yang melalui volume atur selama interval waktu tertentu seperti diketahui jumlah massa yang masuk kedalam volume atur tidak sama dengan jumlah massa yang keluar dari volume atur. Dengan demikian tentu terjadi perubahan jumlah massa yang berada dalam volume atur, seperti pernyataan sebagai berikut:

0 = Banyaknya massa netto yang mengalir melalui permukaan atur + Besarnya perubahan massa didalam volume atur

Atau ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$0 = \frac{d}{dt} \int_{CV} \rho dV + \int_{CS} \rho dA \dots \dots \dots (2.1)$$

Pada persamaan (2.1) diketahui bahwa kelompok pertama menyatakan besarnya perubahan massa di dalam volume atur dan kelompok dua menyatakan perbedaan antara massa yang masuk dengan massa yang keluar melalui permukaan atur.



Gambar 2.12 Sebuah volume kendali dengan lubang masuk dan keluar

Keadaan khusus yang pertama adalah *incompressible* dimana massa jenisnya konstan. Ukuran dari volume atur adalah tetap. Jadi hukum kekekalan massa untuk aliran *incompressible* adalah:

$$0 = \frac{d}{dt} \int_{CV} \rho dV \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan menghubungkan antara gambar (2.1) dengan persamaan (2.2), maka diperoleh persamaan laju aliran *volumetric* konstan, yaitu:

$$Q = V_1A_1 = V_2A_2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

Q : debit aliran (m³/det)

A : luas penampang (m²)

V : kecepatan aliran (m/det)

Jadi laju aliran volumetrik yang masuk ke suatu sistem sama dengan laju aliran yang keluar dari sistem.

2.9. Fluida

Fluida adalah suatu zat yang dapat mengalir berupa cairan atau gas. Fluida mengubah bentuknya dengan mudah. Pemakaian mekanika pada medium kontiniu, baik benda padat maupun fluida adalah didasari pada hukum *Newton* yang digabungkan dengan hukum gaya yang sesuai. Salah satu cara untuk menjelaskan gerak suatu fluida adalah dengan membagi fluida tersebut menjadi elemen volume yang sangat kecil yang dinamakan partikel fluida dan mengikuti gerak masing-masing partikel tersebut.

Suatu massa fluida yang mengalir dapat dibagi-bagi menjadi tabung aliran, bila aliran tersebut adalah tunak, waktu tabung tetap tidak berubah bentuknya dan fluida pada suatu saat berada didalam sebuah tabung akan tetap berada dalam tabung ini seterusnya. Kecepatan aliran dalam tabung adalah sejajar dengan tabung dan mempunyai besar berbanding terbalik dengan luas penampangnya.

Konsep aliran fluida yang berkaitan dengan aliran fluida dalam pipa adalah:

1. Hukum kekekalan massa
2. Hukum kekekalan energi
3. Hukum kekekalan momentum
4. Katup
5. Orifacemeter
6. Arcameter (rotarimeter)

2.10. Macam-Macam Aliran

Aliran dapat diklasifikasikan dalam banyak jenis seperti : turbulen, laminar, nyata, ideal, mampu balik, tak mampu balik, seragam, tak seragam, rotasional dan tak rotasional.

Aliran fluida melalui pipa dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Aliran laminar
2. Aliran turbulen

Cairan dapat dengan lebih mudah mengalir dalam kondisi laminar. Dalam aliran fluida perlu ditentukan besar atau arah vektor kecepatan aliran pada suatu titik ke titik yang lain. Pengukuran aliran adalah untuk mengetahui kapasitas aliran, massa laju aliran, volume aliran. Pemilihan alat ukur aliran tergantung pada ketelitian, kemampuan pengukuran, harga, kemudahan pembacaan, kesederhanaan dan keawetan alat ukur tersebut.

Pengukuran fluida juga mencakup penentuan tekanan, kecepatan, debit, gradient kecepatan, turbulensi dan viskositas. Terdapat banyak cara pengukuran, misalnya : langsung, tak langsung, gravimetrik, volumetrik, elektronik, elektromagnetik dan optik. Pengukuran debit secara langsung terdiri atas penentuan volume atau berat fluida yang melalui suatu penampang dalam suatu selang waktu tertentu. Metode tak langsung memerlukan penentuan

tinggi tekanan, perbedaan tekanan atau kecepatan di beberapa titik pada suatu penampang. Metode pengukuran aliran yang paling teliti adalah dengan *gravimetric* atau *volumetric* dengan berat atau volume diukur atau penentuan dengan mempergunakan tangki yang dikalibrasikan untuk selang waktu yang diukur.

Pada prinsipnya besar aliran fluida dapat diukur melalui:

1. Kecepatan
2. Berat (massanya)
3. Luas bidang yang dilaluinya
4. Volumanya.

2.11. Aliran Termampatkan

Aliran termampatkan adalah aliran fluida yang dicirikan dengan berubahnya besaran kerapatan massa (densitas) dari fluida di sepanjang aliran tersebut. Misalnya : udara, gas alam dan lain-lain.

Persamaan *Bernoulli* untuk aliran termampatkan adalah sebagai berikut:

$$\frac{v^2}{2} + \phi + \omega = \text{konstan} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

ϕ : energi potensial gravitasi per satuan massa, jika gravitasi konstan maka $\phi = gh$

ω : entalpi fluida per satuan massa

Dimana : $\omega = \epsilon + p/\rho$

Dimana ϵ adalah energi termodinamika per satuan massa, juga disebut sebagai energy internal spesifik.

2.12 Aliran Tak Termampatkan

Aliran tak termampatkan adalah aliran fluida yang dicirikan dengan tidak berubahnya besaran kerapatan massa (densitas) dari fluida di sepanjang aliran tersebut. Misalnya : air, berbagai jenis minyak, emulsi dan lain-lain. Persamaan Bernoulli untuk aliran tak termampatkan adalah sebagai berikut:

$$p + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{konstan} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

v : kecepatan fluida

g : percepatan gravitasi

h : ketinggian relatif terhadap suatu referensi

p : tekanan fluida

ρ : densitas fluida

Persamaan (2.5) berlaku untuk aliran tak termampatkan dengan asumsi sebagai berikut:

1. Aliran bersifat lunak (*steady state*)
2. Tidak terdapat gesekan (*inviscid*)

Dalam bentuk lain, persamaan *Bernoulli* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 \dots \dots \dots (2.6)$$

2.13. Bilangan *Reynold*

Dalam mekanika fluida, bilangan *Reynold* adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen. Namanya diambil dari *Osborne Reynolds* (1842 – 1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883.

Bilangan *Reynold* merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain. Jika dua pola aliran yang mirip secara geometris, mungkin pada fluida yang berbeda dan laju alir yang berbeda pula, memiliki nilai bilangan tak berdimensi yang relevan, keduanya disebut memiliki kemiripan dinamis.

Bilangan *Reynold* dipergunakan sebagai acuan dalam membedakan aliran laminar dan turbulen serta mengetahui jenis-jenis aliran yang berlangsung dalam air. Hal ini didasarkan pada suatu keadaan bahwa dalam satu tabung sering terjadi perubahan bentuk aliran yang satu menjadi aliran yang lain. Perubahan bentuk aliran ini pada umumnya tidaklah terjadi secara tiba-tiba tetapi memerlukan waktu, yakni suatu waktu yang relatif singkat dengan diketahuinya kecepatan kritis dari suatu aliran. Kecepatan kritis pada umumnya dipengaruhi oleh jenis zat cair yang melewati pipa.

Terdapat empat besaran yang digunakan untuk menentukan aliran laminar atau aliran turbulen, yaitu:

1. Massa jenis;
2. Kecepatan aliran;
3. Kekentalan;

4. Diameter pipa.

Kombinasi dari keempat besaran tersebut akan menentukan besarnya bilangan *Reynold*. Oleh sebab itu, bilangan *Reynold* dapat dituliskan sebagai berikut (Mekanika fluida, *Bruce R. Munson*, 2004):

$$R_e = (\rho v D)/\eta \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

R_e : Bilangan *Reynold*

ρ : Massa jenis

η : Viskositas (kekentalan)

v : Kecepatan aliran

D : Diameter pipa

Berdasarkan eksperimen untuk perhitungan bilangan *Reynold* diperoleh nilai sebagai berikut:

$0 < Re \leq 2000$, aliran disebut laminar

$2000 < Re \leq 3000$, aliran disebut transisi antara laminar dan turbulen

$Re > 3000$, aliran disebut turbulen

Bilangan *Reynold* merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran baik laminar, transisi maupun turbulen.

Aliran laminar adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dan garis-garis arusnya halus. Dalam aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah

bergerak sepanjang lintasan-lintasan yang halus dan lancar. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran laminar. Aliran laminar bersifat *steady* yang berarti aliran tetap. “Tetap” menunjukkan bahwa di seluruh aliran air, debit alirannya tetap atau kecepatan aliran tidak berubah terhadap waktu.

Aliran fluida pada pipa diawali dengan aliran laminar kemudian pada fase berikutnya aliran berubah menjadi aliran turbulen. Fase antara laminar menjadi turbulen disebut aliran transisi. Aliran laminar mengikuti hukum *Newton* tentang viskositas yang menghubungkan tegangan geser dengan laju perubahan bentuk sudut. Pada viskositas yang rendah dan kecepatan yang tinggi, aliran laminar tidak stabil dan berubah menjadi aliran turbulen. Sehingga diperoleh kesimpulan mengenai ciri-ciri aliran laminar yaitu : fluida bergerak mengikuti garik lurus, kecepatan fluidanya rendah, viskositasnya tinggi dan lintasan gerak fluida teratur antara satu dengan yang lain.

Aliran turbulen adalah aliran dengan kecepatan yang relatif besar yang menghasilkan aliran yang tidak laminar melainkan kompleks, lintasan gerak partikel saling tidak teratur antara satu dengan yang lain. Sehingga diperoleh ciri-ciri aliran turbulen yaitu: tidak adanya keteraturan dalam lintasan fluidanya, aliran banyak bercampur, kecepatan fluida tinggi dan viskositasnya rendah. Karakteristik aliran turbulen ditunjukkan oleh terbentuknya pusaran-pusaran dalam aliran yang menghasilkan percampuran secara terus-menerusa antara partikel-partikel cairan di seluruh penampang aliran.

2.14. Debit Air

Debit air merupakan ukuran banyaknya volume air yang dapat lewat dalam suatu tempat atau yang dapat ditampung dalam suatu tempat tiap satu satuan waktu. Aliran air dikatakan memiliki sifat ideal apabila air tersebut tidak dapat dimanfaatkan dan berpindah tanpa

mengalami gesekan, hal ini berarti pada gerakan air tersebut memiliki kecepatan yang tetap pada masing-masing titik dalam pipa dan gerakannya beraturan akibat pengaruh gravitasi bumi. Debit air dapat dihitung dengan rumus: (Mekanika Fluida, *Bruce R. Munson*, 2004)

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{AL}{L/v} = Av \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$V = Q / (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2)$$

Keterangan:

Q : Debit aliran fluida (m³/s)

V : Volume (m³)

A : Luas penampang (m²)

v : Kecepatan fluida (m/s)

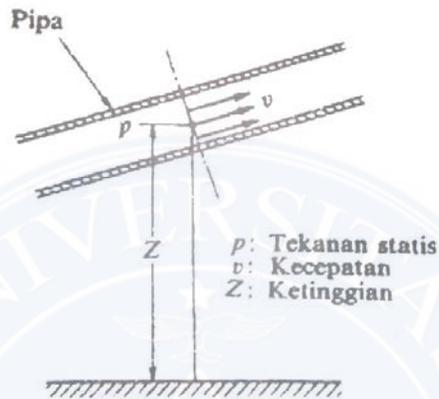
t : waktu (s)

D : Diameter pipa (m)

Leonard Meuler (1707-1783) menyatakan bahwa fluida sebagai medan rapat massa dan medan *vector* kecepatan. Tiap besaran yang dipergunakan untuk menyatakan keadaan fluida akan mempunyai nilai tertentu pada tiap titik dalam ruang dan pada tiap saat.

2.15. Head Zat Cair

Pandanglah aliran suatu fluida yang inkompresible ($\rho_1 = \rho_2$) melalui suatu penampang saluran. Pada penampang tersebut zat cair mempunyai tekanan statis P (N/m^2), kecepatan rata-rata v (m/det) dan ketinggian z (m) diukur dari bidang referensi seperti dinyatakan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Aliran melalui pipa

Sumber : Sularso, "Pompa dan Kompresor", 1994, hal. 3

Zat cair yang mengalir pada penampang yang bersangkutan dikatakan mempunyai tinggi tekan total atau *total head* H (dalam m). *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 *Bernoulli*, ada tiga macam *head* (energi) fluida dari sistem instalasi aliran, yaitu : energi tekanan, energi kinetik dan energi potensial. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

H : tinggi tekan total/ total head (m)

P : tekanan statis (kgf/m^2)

γ : berat zat cair per satuan volume (N/m^3)

v : kecepatan (m/det)

g : percepatan gravitasi (m/det^2)

Z : ketinggian dari referensi (m)

Adapun masing-masing suku di ruas kanan dari persamaan (2.9) yaitu:

$\frac{P}{\gamma}$: head tekanan

$\frac{v^2}{2g}$: head kecepatan

Z : head potensial

Ketiga head ini tidak lain merupakan energy mekanik yang dikandung oleh satu satuan berat zat cair yang mengalir pada penampang yang bersangkutan.

Pada aliran fluida sebenarnya, head akan dipengaruhi oleh ukuran penampang pipa yang bervariasi serta kerugian gesekan pada pipa, belokan dan katup, sehingga persamaan (2.9) menjadi:

$$H = \frac{P_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_d}{\gamma} + \frac{v_d^2}{2g} + Z_2 + H_{L1-2} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

P_s : tekanan pada bagian pipa isap (kPa)

P_d : tekanan pada bagian pipa tekan (kPa)

v_s : kecepatan aliran pada bagian pipa isap (m/s)

v_d : kecepatan aliran pada bagian pipa tekan (m/s)

γ : berat zat cair per satuan volume (N/m^3)

Z_1 : ketinggian terhadap permukaan referensi 1 (m)

Z_2 : ketinggian terhadap permukaan referensi 2 (m)

H_{1-2} : kerugian-kerugian sepanjang penampang 1 dan 2 (m)

2.16. Total Head Pompa

Head pompa dapat didefinisikan sebagai besarnya energi yang dinyatakan meter kolom air.

Dalam persamaan *Bernoulli* diperoleh :

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + Z = C$$

Dimana :

$\frac{P}{\gamma}$: *Head* tekanan (*Pressure head*)

$\frac{v^2}{2 \cdot g}$: *Head* kecepatan (*velocity head*)

Z : *Head* elevasi (*elevation head*)

Disamping *head* pompa diatas, ada yang namanya *head losses* yaitu kerugian/kehilangan energi dalam bentuk head akibat gesekan dan turbulensi akibat pada fitting yang secara umum diperoleh dari persamaan :

1. *Major losses* : *Losses* yang terjadi akibat gesekan dalam sebuah pipa.

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

f : Faktor gesekan

L : panjang pipa (m)

D : Diameter pipa (m)

V : kecepatan fluida (m/s)

2. *Minor losses* : *Losses* yang diakibatkan *fitting* (pengcilan, pembesaran, hambatan elbow, katub, dll) dalam aliran fluida

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 + H_p = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + H_L$$

$$H_p = \frac{P_1 - P_0}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + Z_2 - Z_1 + H_L$$

$$H_p = \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + \Delta Z + H_L$$

$$H_p = \sum K \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots(2.12)$$

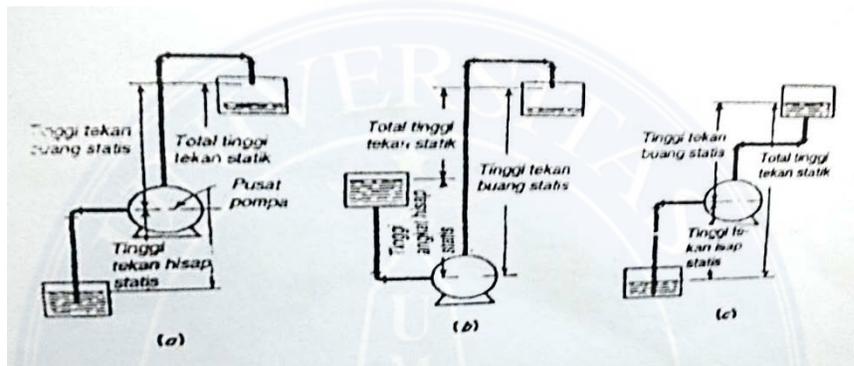
Dimana :

K : Koefisien *fitting*

v : Kecepatan fluida (m/s)

g : Percepatan gravitasi (m/s)

Dapat dilihat kedua *head losses* diatas adalah sebagai fungsi dari kecepatan, sehingga sering juga disebut *head* dinamik.



Gambar 2.14 Penentuan Total Head berdasarkan letak pompa

Dalam instalasi pompa, head terdiri atas beberapa macam yaitu :

1. *Head* Isap Statis (Hss) yaitu Head pompa pada sisi isap di ukur dari permukaan fluida ke pusat pompa. Bila permukaan fluida berada di bawah permukaan garis pompa maka *head* pompa tanda positif demikian juga sebaliknya.
2. *Head losses* pada pipa isap yaitu *head* pompa pada sisi isap, yang merupakan golongan antara *major losses* dan *minor losses* sepanjang sisi isap pompa.

$$H_{ds} = f_s \frac{L_s}{D_s} \cdot \frac{V_s^2}{2g} + \sum K_s \cdot \frac{V_s^2}{2g} \dots\dots\dots(2.13)$$

3. *Head* tekan statis yaitu tinggi jarak vertikal dengan garis sumbu *impeller* pompa ke permukaan air.

4. *Head losses* pada pipa tekan yaitu head pada posisi *discharge* yang merupakan gabungan dari kedua *head losses* dan persamaan :

$$H_{dd} = f d \cdot \frac{L_d}{D_d} \cdot \frac{V_d^2}{2 \cdot g} - \sum \left(K_d \cdot \frac{V_d^2}{2 \cdot g} \right) \dots \dots \dots (2.14)$$

5. *Head discharge total* (h_d) adalah *head* pompa pada sisi buang yang merupakan penjumlahan *head discharge statis* (H_{ds}) dengan *head discharge dinamik* (H_{dd}).

$$H_d = H_{ds} + H_{dd} \dots \dots \dots (2.15)$$

Head total adalah *head* pompa pada sisi isap, yang merupakan penjumlahan antara *head suction* dengan *head suction dinamik*.

$$H_p = H_s + H_d$$

$$H_d = (h_{ls} + h_{fs}) + (h_{ld} + h_{fd}) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

h_{fs} : *major losses* pada pipa *suction* (m)

h_{ls} : *minor losses* pada pipa *suction* (m)

h_{fd} : *major losses* pada pipa *discharge* (m)

h_{ld} : *minor losses* pada pipa *discharge* (m)

Karena ada kecepatan fungsi dari kapasitas maka penjumlahan *head* statis dan dinamis maka diperoleh *head* daya total pompa :

$$H_{tot} = H_s + H_d \dots \dots \dots (2.17)$$

2.17. Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa adalah banyaknya cairan yang dapat dipindahkan oleh pompa setiap satuan waktu yang dinyatakan dalam satuan volume per satuan waktu dan diberi notasi Q (m^3/det), yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{\eta_p \cdot P}{\rho_{H2O} \cdot v_{w1} \cdot v_1} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

P : daya pompa (watt)

ρ_{H2O} : massa jenis air (kg/m^3)

η_p : efisiensi pompa

v_{w1} : kecepatan sudut luar *impeller* (m/s)

v_1 : kecepatan *impeller* pada sisi keluaran (m/s)

2.18. Daya Pompa

Daya pompa adalah besarnya energi per satuan waktu atau kecepatan melakukan kerja.

Terdapat beberapa pengertian daya, yaitu:

- a. Daya hidrolik (*hydraulic horse power*)

Daya hidrolik (daya pompa teoritis) adalah daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$HHP = \frac{Q.H.\gamma}{75} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

HHP : daya hidrolik pompa (HP)

Q : kapasitas pompa (m^3/s)

H : *total head* pompa (m)

γ : berat spesifik cairan (kg/m^3)

b. Daya poros pompa (*brake horse power*)

Besarnya daya poros yang sesungguhnya adalah sama dengan efisiensi pompa yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$NP = \frac{Q.H.\gamma}{75.\eta_p} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

BHP atau NP : *brake horse power*

HHP : hidrolik *horse power*

η_p : efisiensi optimum *power*

c. Daya penggerak (*driver*)

Daya penggerak adalah daya poros dibagi dengan efisiensi mekanis (efisiensi transmisi) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Nd = \frac{BHP(1+ \alpha)}{\eta_{trans}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana:

Nd : daya penggerak (HP)

BHP : *brake horse power* (HP)

η_{trans} : efisiensi transmisi dari *gear box, belt*, rantai atau kopling (0,75-0,95)

α : faktor cadangan (untuk motor hidrolik 0,1-0,2)

Setelah memperoleh besar *head* pompa angkat, kemudian dihitung besar daya pompa dengan menggunakan persamaan (2.22) berikut: (*Fritz dietzel*. Hal. 243)

$$P_p = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_p} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana:

P_p : daya pompa (watt)

ρ : kerapatan air (998,3 kg/m³ pada suhu 20°C)

g : percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Q : kapasitas pompa (m³/s)

H : head total pompa (m)

η_p : efisiensi pompa (%)

2.19. Putaran Spesifik Pompa

Efisiensi pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara output dan input atau perbandingan antara HHP pompa dengan BHP pompa. Harga efisiensi yang tertinggi sama dengan satu harga efisiensi pompa yang didapat dari pabrik pembuatnya. Untuk mencari putaran spesifik pompa digunakan rumus sebagai berikut: (*Khetagurov*, Hal.205)

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana:

n_s : putaran spesifik pompa

n : putaran pompa (rpm)

Q : kapasitas pompa (m^3/s)

H : head pompa (m)

2.20. Jarak Semprotan Fluida

Untuk mengetahui jarak dari semprotan fluida yang akan dicapai digunakan persamaan (2.24) dan persamaan (2.25) berikut:

$$L = v \cdot t \dots\dots\dots(2.24)$$

$$H = \frac{1}{2} g t^2$$

$$t^2 = 2H/g \dots\dots\dots(2.25)$$

dimana:

L : jarak semprotan (m)

v : kecepatan aliran (m/s)

t : waktu (s)

H : tinggi (m)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)