

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian sebelumnya

Analisis adalah kegiatan menyelidiki pada suatu peristiwa, perbuatan, karangan, dan sebagainya untuk mendapatkan fakta yang tepat yang berkaitan dengan asal usul, sebab, penyebab sebenarnya, dan sebagainya (Yenni Salim, 2002). Tujuan analisis adalah untuk mengungkapkan data apa yang perlu dicari, pertanyaan apa yang perlu dijawab, metode apa yang digunakan untuk mendapatkan informasi baru dan kesalahan apa yang harus diperbaiki. Berikut merupakan referensi dari penelitian Analisa Simulasi Laju Aliran Terhadap Pengaruh Kavitasasi pada Pompa Sentrifugal.

Jenny Delly (2009) melakukan penelitian berkaitan tentang pengaruh temperatur terhadap terjadinya kavitasasi pada sudu pompa sentrifugal. Penelitian dilakukan analisa dengan melakukan variasi temperatur fluida yang diduga berpengaruh terhadap terjadinya kavitasasi pada impeler serta instalasi pompa sentrifugal. Parameter yang digunakan untuk mengamati terjadinya kavitasasi adalah angka Thoma (σ_p). Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi nilai dari temperatur fluida maka semakin besar kemungkinan terjadinya kavitasasi pada sudu.

Wibowo A Priyo (2013) melakukan penelitian analisa penurunan head losses pada pipa belokan pipa 180° dengan variasi non tube bundle, tube bundle 0.25 inch, dan tube bundle 0.5 inch. Analisa dilakukan dengan melakukan pengujian dengan metode eksperimental. Pengujian dilakukan dengan melakukan analisa pengaruh penggunaan tube bundle terhadap penurunan head losses pada belokan pipa 180°. Hasil dari penelitian menyimpulkan penggunaan tube bundle mampu menurunkan kecepatan fluida yang diikuti penurunan head losses serta akan menaikkan nilai tekanan fluida.

Sofwan Hariady (2014) melakukan penelitian analisa kerusakan pompa sentrifugal 53-101C WTU Sungai Gorong. Metode analisa yang digunakan adalah metode vibrasi. Dengan metode ini analisa dilakukan dengan cara melihat pola

(symptom) vibrasi pada peralatan rotating yang sedang beroperasi. Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan nilai minimum tinggi isap pompa (HS) dan perhitungan valve closing time. Dari hasil penelitian pompa 53-101C WTU Sungai Gerong mengalami kerusakan berat pada pompa yang disebabkan oleh vibrasi yang tinggi pada pompa.

Elfita Yohana (2016) melakukan penelitian anaisa numerik dan validasi kasus kavitasi pompa sentrifugal mission magnum menggunakan CFD. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terjadinya kavitasi dan getaran yang ditimbulkan dengan menganalisa distribusi tekanan dan tekanan uap jenuh pada impeller secara numerik dengan Volume Methode (FVM). Dengan dilakukukannya simulasi peristiwa terjadinya kavitasi di daerah impeller dapat diketahui dengan melihat distribusi tekanan yang terjadi pada daerah impeller. Hasil penelitian ini menyimpulkan dengan rendahnya tekanan absolut tersebut gelembung-gelembung timbul dengan cepat sehingga menjadi penyebab terjadinya kavitasi.

Rosid (2017) melakukan analisa simulasi kerusakan impeller pada pompa sentrifugal akibat kavitasi. Analisa dilakukan pada pompa sentrifugal untuk menghitung kecepatan pipa hisap, kecepatan pipa tekan, dan menghitung NPSH untuk menentukan apakah pompa yang bekerja dipengaruhi kavitasi. Dari hasil dari penelitian NPSH yang tersedia lebih besar dari NPSH yang diperlukan artinya instalasi pompa terhindar dari kavitasi.

2.2. Teori-teori pendukung

2.2.1. Pompa Sentrifugal



Gambar 2. 1 Pompa Sentrifugal

(Sumber : ezkhelenergy.blogspot.com)

Pompa adalah peralatan mekanik yang berfungsi untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain dengan cara memberikan energi mekanik pada pompa yang kemudian diubah menjadi energi gerak fluida. Fluida yang dapat dipindahkan contohnya air, minyak pelumas, serta fluida tak mampu mampat (*incompressible*). Pompa banyak digunakan pada sebuah industri sebagai salah satu peralatan yang penting dalam proses produksi. Sebagai contohnya pada PLTU pompa digunakan untuk menyuplai air umpan ke boiler, pada mesin industri digunakan untuk mensirkulasi air, minyak pelumas atau pendingin mesin-mesin industri. Salah satu jenis pompa yang banyak digunakan pada sebuah industri adalah pompa sentrifugal.

Pompa Sentrifugal adalah jenis pompa dinamik (*Dynamic Pump*) yang memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran impeler. Komponen pompa sentrifugal terdiri dari komponen yang berputar dan komponen statis. Komponen berputar adalah impeller yang disambungkan dengan poros dan komponen statis adalah casing, penutup casing, dan bantalan. Prinsip kerja pompa sentrifugal adalah ketika impeller berputar, fluida mengalir menuju casing disekitar impeller sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Casing ini berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran fluida sementara kecepatan impeller tetap

tinggi. Kecepatan fluida dikonversikan menjadi tekanan oleh casing sehingga fluida dapat menjadi titik outletnya.

2.2.2. Jenis Pompa Sentrifugal

Berikut merupakan klasifikasi pompa sentrifugal :

A. Menurut jenis aliran dalam Impeller

1. Pompa aliran Radial

Pompa ini mempunyai konstruksi sedemikian sehingga aliran zat cair yang keluar dari impeller kan tegak lurus poros pompa (arah radial). Nilai head dari pompa aliran radial lebih tinggi dibanding dengan pompa jenis lainnya.

2. Pompa Aliran Aksial

Arah aliran dalam sudu gerak pada pompa aliran arah aksial terletak pada bidang yang sejajar dengan sumbu poros dan head yang timbul akibat dari besarnya gaya angkat dari sudu-sudu geraknya. Pompa aliran aksial mempunyai head yang rendah tetapi kapasitasnya lebih besar.

3. Pompa Aliran Campur

Pada pompa ini fluida yang masuk sejajar dengan sumbu poros dan keluar sudu dengan arah miring (merupakan perpaduan antara pompa aliran radial dan pompa aliran aksial). Pompa ini mempunyai head yang rendah namun memiliki kapasitas yang lebih besar.

B. Menurut jenis Impeller

1. Impeller tertutup

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

2. Impeller setengah terbuka

Impeller ini terbuka disebelah 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, slurry, dan lain-lain.

3. Impeller terbuka

Impeller jenis ini tidak ada dindingnya di depan maupun dibelakang. Jenis ini banyak digunakan untuk pemompaan zat cair yang mengandung banyak kotoran.

C. Menurut bentuk rumah

1. Pompa volut

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

2. Pompa diffuser

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

3. Pompa aliran campur jenis volut

Pompa ini mempunyai jenis impeller aliran campur dan sebuah rumah volut.

4. Pompa jenis turbin

Pompa jenis ini juga dikenal dengan pompa vorteks, peri-peri, dan regeneratif, cairan pada jenis ini diputar oleh baling-baling impeller dengan kecepatan yang tinggi selama hampir dalam satu putaran di dalam saluran yang berbentuk cincin (*annular*), tempat impeller tadi berputar. Energi ditambahkan ke cairan dalam bentuk impuls. Jadi pompa turbin menambah energi pada cairan dalam sejumlah impuls.

D. Menurut jumlah tingkat

1. Pompa Satu tingkat (*Single stage*)

Head total yang ditimbulkan pada pompa jenis ini relatif rendah, disebabkan karena jumlah impeller pompa hanya satu.

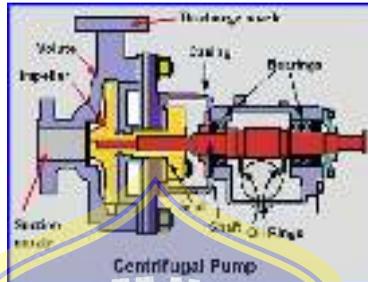
2. Pompa bertingkat banyak (*Multi stage*)

Pompa ini memiliki nilai tekanan yang besar karena jumlah impeller pada poros lebih dari satu. Zat cair yang pertama kali keluar dari impeller pertama dimasukkan ke impeller berikutnya dan berikutnya dan seterusnya hingga impeller terakhir.

E. Menurut letak porosnya.

Menurut letaknya pompa dapat dibedakan menjadi pompa dengan poros horizontal dan poros vertikal.

2.2.3. Bagian – bagian pompa sentrifugal



Gambar 2. 2 Bagian-bagian pompa sentrifugal

(Sumber : artikel-teknologi.com)

Pompa sentrifugal memiliki komponen-komponen utama yaitu :

- a. Casing
- b. Impeller
- c. Poros
- d. Bearing/ Bantalan
- e. Kopling
- f. Packing dan Seal
- g. Sistem Lubrikasi

A. Casing

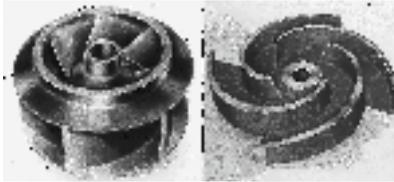


Gambar 2. 3 Casing Pompa Sentrifugal

(Sumber : insinyoer.com)

Casing adalah bagian utama pompa yang digunakan untuk melindungi komponen yang berada di dalam pompa seperti poros dan impeller pompa. Casing pompa sentrifugal didesain berbentuk sebuah difuser yang mengelilingi impeller pompa. Volut casing berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran (*flow*) fluida yang masuk ke dalam pompa. Pada sisi outlet pompa, volut casing di desain membentuk corong yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi tekanan dengan jalan menurunkan kecepatan dan menaikkan tekanan.

B. Impeller



Gambar 2. 4 Jenis-jenis Impeller Pompa Sentrifugal

(Sumber : insinyoer.com)

Impeller adalah komponen sentrifugal yang berfungsi untuk mengubah energi dari putaran motor menjadi energi kecepatan fluida yang di pompa dengan jalan mengakselerasinya dari tengah impeller ke sisi luar impeller. Impeller dapat di desain berdasarkan kebutuhan tekanan, kecepatan aliran, dan kesesuaian pada sistemnya.

C. Poros



Gambar 2. 5 Poros Pompa Sentrifugal

(Sumber : macammakati.blogspot.com)

Poros pompa adalah bagian pompa sebagai sumber penggerak putaran pompa yang meneruskan putaran dari motor penggerak .

D. Bantalan



Gambar 2. 6 Journal Bearing dan Thrust Bearing

(Sumber : Artikel-Teknologi.com)

Bantalan pada pompa berfungsi untuk pemisah antara poros pompa (bagian yang bergerak) dengan rumah pompa (bagian yang tidak bergerak) sehingga tidak terjadi keausan karena tidak terjadinya gesekan secara langsung.

E. Kopling

Kopling berfungsi untuk menghubungkan antara poros penggerak dengan poros yang digerakkan. Macam-macam kopling yang digunakan pada pompa antara lain kopling rigid, kopling fleksibel, *grid coupling*, *gear coupling*, *elastometric coupling*, dan *disc coupling*.

F. Sistem Packing dan Mechanical Seal



Gambar 2.7 Sistem Packing dan Seal pada Pompa Sentrifugal

(Sumber : Artikel-Teknologi.com)

Sistem Packing pada pompa berfungsi untuk menghalangi terjadinya kebocoran fluida yang mungkin terjadi pada bagian rumah pompa yang terhubung pada poros pompa dengan bagian perbatasan rumah pompa. Sistem sealing yang banyak digunakan pada pompa sentrifugal adalah *mechanical seal* dan *gland packing*.

G. Sistem Lubrikasi

Sistem lubrikasi pada pompa digunakan pada bantalan (*bearing*) untuk mengurangi koefisien gesek sehingga mengurangi resiko keausan. Lubrikasi pada pompa digunakan. Sistemnya dapat berupa lub oil atau juga tipe greas tergantung dari desain pompa itu sendiri.

2.2.4. Cooling Tower



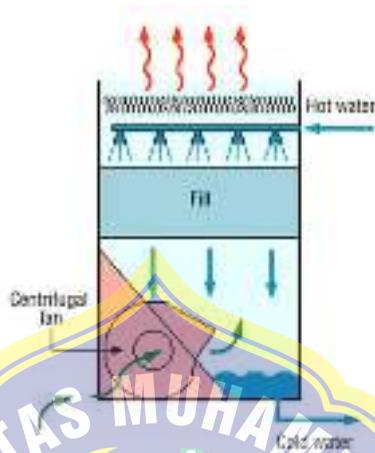
Gambar 2. 8 Cooling Tower

(Sumber :wikipedia)

Menara pendingin (*Cooling tower*) adalah alat yang digunakan untuk mendinginkan air dengan cara mengkontakkan panas dari fluida ke udara menggunakan *fan* . Berdasarkan cara kerjanya Menara pendingin (*Cooling tower*) dibagi menjadi 3 jenis yaitu

A. *Cooling Tower Forced Draft*

Prinsip kerjanya adalah udara dihembuskan ke menara oleh sebuah fan yang terletak pada saluran udara masuk sehingga terjadi kontak langsung dengan air yang jatuh, berikut gambarnya:

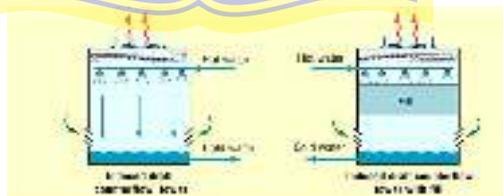


Gambar 2. 9 Cooling tower induced draft
(industrimanufakturtangerrangblogspot.com)

B. *Cooling Tower Induced Draft* dengan aliran berlawanan

Prinsip kerjanya :

1. Air keluar pada pipa sprinkler dan kemudian turun melawati filter
2. *Fan* berfungsi mengalirkan udara yang panas menuju saluran keluar pada bagian atas *cooling tower*



Gambar 2. 10 Cooling tower induced draft
(industrimanufakturtangerrangblogspot.com)

C. *Cooling tower Induced draft* Aliran melintang

Prinsip kerjanya :

1. Air panas keluar dari pipa sprinkler mengalir kebawah pada filter.
2. Kemudian *fan* yang berada di atas filter berfungsi mengalirkan udara panas keluar Menara pendingin untuk mendinginkan air pada Menara pendingin. Dibawah ini merupakan gambar dari *Cooling tower induced draft* dengan aliran melintang :



Gambar 2. 11 Cooling tower induced draft

(industrimanufakturtangerrangblogspot.com)

2.2.5. Kavitasasi

Kavitasasi adalah dimana terbentuknya lubang-lubang fluida didalam cairan karena cairan mendidih . Dimana mendidihnya zat cair disebabkan karena tekanan uap jenuh pada zat cair sampai dibawah tekanan uap jenuh zat cair pada operasi pompa. Kavitasasi terjadi pada area aliran yang memiliki kecepatan tinggi atau memiliki tekanan yang rendah : Kavitasasi pada pompa memiliki dampak sebagai berikut :

- a. Kapasitas dan head berkurang.
- b. Suara berisik, getaran atau kerusakan komponen pompa yang disebabkan gelembung-gelembung fluida pecah ketika melalui daerah yang memiliki tekanan lebih tinggi.

- c. Pompa tidak mampu membangkitkan *Head* (tekanan)
- d. Erosi permukaan baling-baling, terutama jika memompa berbasis air.
- e. Meningkatkan kebisingan dan getaran, mengakibatkan umur seal dan bearing menjadi lebih pendek.
- f. Menyumbat sebagian lintasan impeller yang menurunkan kinerja pompa dan dalam kasus yang ekstrim dapat kehilangan head total.

Karena kavitasi pada pompa sentrifugal sangat mempengaruhi kinerja pompa maka perlu dilakukan pencegahan terjadinya kavitasi, yaitu :

- a. Tekanan sisi isap tidak boleh terlalu rendah. Pompa tidak boleh diletakkan jauh diletakkan jauh diatas permukaan cairan yang dipompa sebab menyebabkan head statisnya besar
- b. Kecepatan aliran pada pipa isap tidak boleh terlalu besar. Bagian yang mempunyai kecepatan tinggi maka tekanannya akan rendah. Oleh karena itu besarnya kecepatan aliran harus dibatasi, caranya dengan membatasi diameter pipa hisap tidak boleh terlalu kecil.
- c. Tidak dibenarkan memperkecil laju aliran dengan menghambat aliran disisi isap.

2.2.6. Vaporisation (Penguapan)

Vaporisation adalah salah satu penyebab terjadinya kavitasi. Pada dasarnya fluida menguap bila tekanannya menjadi sangat rendah atau temperaturnya menjadi sangat tinggi. Setiap pompa sentrifugal memerlukan tekanan (*head*) pada sisi isap untuk mencegah penguapan. Tekanan yang diperlukan ini, disiapkan oleh pabrik pembuat pompa dan dihitung berdasarkan asumsi bahwa air yang dipompakan

adalah fresh water pada suhu 68 °F. Dan ini disebut *Net Positive Suction Head Available* (NPSHA).

Karena ada pengurangan tekanan (*head losses*) pada sisi suction (karena adanya valve, elbow, reduser, dan lain-lain), maka kita menghitung *Net Positive Suction Head is Required* (NPSHR). Untuk mencegah terjadinya penguapan maka syaratnya adalah :

$$\text{NPSHR} - V_p \geq \text{NPSHA} \dots \dots \dots (2.1)$$

V_p = Vapor pressure fluida yang dipompa

Untuk memelihara supaya vaporization tidak terjadi maka kita harus melakukan hal berikut :

- a. Menambah suction Head
- b. Menambah level fluida di tangki.
- c. Meninggikan tangki.
- d. Memberi tekanan tangki.
- e. Menurunkan posisi pompa (untuk pompa portable).
- f. Mengurangi head losses pada suction piping system.
- g. Mengurangi Temperatur Fluida
- h. Mendinginkan suction dengan fluida pendingin.
- i. Mengisolasi suction pompa.
- j. Mencegah naiknya temperatur dari bypass system dari pipa discharge.
- k. Mengurangi NPSHR
- l. Gunakan double suction.
- m. Menggunakan pompa dengan speed yang lebih rendah

2.2.7. Aliran Fluida

Fluida adalah zat yang tidak dapat menahan perubahan bentuk (distorsi) secara permanen. Bila kita mencoba

mengubah bentuk suatu massa fluida, maka didalam tersebut akan terbentuk lapisan-lapisan dimana lapisan yang satu akan mengalir diatas lapisan lain, sehingga tercapai bentuk baru. Selama perubahan bentuk tersebut, terhadap tegangan geser (*shear stress*), yang besarnya tergantung pada viskositas fluida dan laju alir fluida relatif terhadap arah tertentu. Bila fluida telah mendapatkan bentuk akhirnya, semua tegangan geser tersebut akan hilang sehingga fluida berada dalam keadaan kesetimbangan. Pada temperatur dan tekanan tertentu, setiap fluida memiliki densitas tertentu. Jik densitas hanya sedikit terpengaruh oleh perubahan suhu dan tekanan yang relatif besar, fluida tersebut bersifat *incompressible*. Tetapi jika densitasnya peka terhadap perubahan variabel tekanan dan temperatur, fluida tersebut digolongkan bersifat *compressible*. Zat cair biasanya disebut zat *incompressible*, sedangkan gas umumnya dikenal sebagai zat *compressible* (Modul ITB, 2001).

Perilaku zat cair yang mengalir sangat bergantung pada kenyataan apakah fluida itu berada dibawah pengaruh bidang batas padat atau tidak. Didaerah yang pengaruh gesekan dinding kecil, tegangan geser dapat diabaikan dan perilakunya mendekati fluida ideal, yaitu *incompressible* dan memiliki viskositas 0. Aliran fluida yang demikian disebut aliran potensial. Pada aliran potensial berlaku prinsip-prinsip Mekanika Newton dan hukum kekekalan massa. Aliran potensial mempunyai 2 ciri pokok yaitu :

- a. Tidak terdapat sirkulasi ataupun pusaran sehingga aliran potensial itu disebut aliran irrasional.
- b. Tidak terjadi gesekan sehingga tidak ada disipasi (pelepasan) dari energi mekanik menjadi kalor.

Prinsip prinsip dasar yang paling berguna dalam penerapan mekanika fluida adalah persamaan-persamaan neraca massa atau persamaan kontinuitas, dan neraca momentum *angular* (sudut), serta neraca energi mekanik. Persamaan-persamaan itu dapat dituliskan dalam bentuk diferensial yang menunjukkan kondisi dalam suatu titik di dalam

elemen volume fluida, atau dapat pula dalam bentuk integral yang berlaku untuk contoh volume tertentu atau massa tertentu.

2.2.8. Sifat Dasar Fluida

A. Massa jenis (*Density*)

Massa jenis atau Density dinyatakan dengan ρ (rho) didefinisikan sebagai massa zat untuk suatu volume zat tertentu. Massa jenis dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (Kg/m}^3\text{)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : ρ = Massa jenis (Kg/m³)
m = massa (Kg)
V = Volume (m³)

B. Berat jenis (*Spesific Grafity*)

Berat jenis suatu bahan diartikan sebagai nilai perbandingan kerapatan sebuah zat terhadap kerapatan air. Berat jenis (*specific gravity*) adalah besaran murni tanpa dimensi tanpa dimensi maupun satuan (Chapter, 2 2011) dinyatakan pada persamaan sebagai berikut :

$$\text{untuk fluida cair } S_{Gc} = \frac{\rho_g \text{ (g/cm}^3\text{)}}{\rho_w \text{ (g/cm}^3\text{)}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{untuk fluida gas } S_{Gg} = \frac{\rho_g \text{ (g/cm}^3\text{)}}{\rho_a \text{ (g/cm}^3\text{)}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : ρ_w = massa jenis air (g/m³)
 ρ_g = massa jenis gas (g/m³)
 ρ_a = massa jenis udara (g/m³)

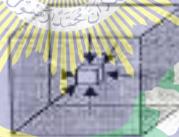
C. Tekanan (*Pressure*)

Tekanan merupakan gaya persatuan luas. Tekanan biasanya digunakan untuk menentukan kekuatan suatu fluida. Tekanan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \frac{F}{A} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : P = Tekanan (N/m²)
 F = Gaya (N)
 A = Luas permukaan (m²)

Pada titik tertentu dalam fluida diam, tekanan memiliki nilai yang sama untuk semua arah. Ini dapat dilihat pada gambar 2.13. Bayangkan fluida yang terdapat dalam sebuah kotak berbentuk kubus dalam keadaan tertutup rapat sehingga nilai gaya gravitasi yang bekerja padanya bias diabaikan. Tekanan pada suatu sisi harus sama dengan tekanan pada sisi yang berlawanan. Jika hal ini tidak benar, gaya netto yang bekerja pada kubus tidak akan sama dengan nol, dan kubus ini akan bergerak hingga tekanan yang bekerja pada kubus memiliki nilai yang sama.



Gambar 2. 12 Bayangan Fluida didalam kubus yang menerima tekanan

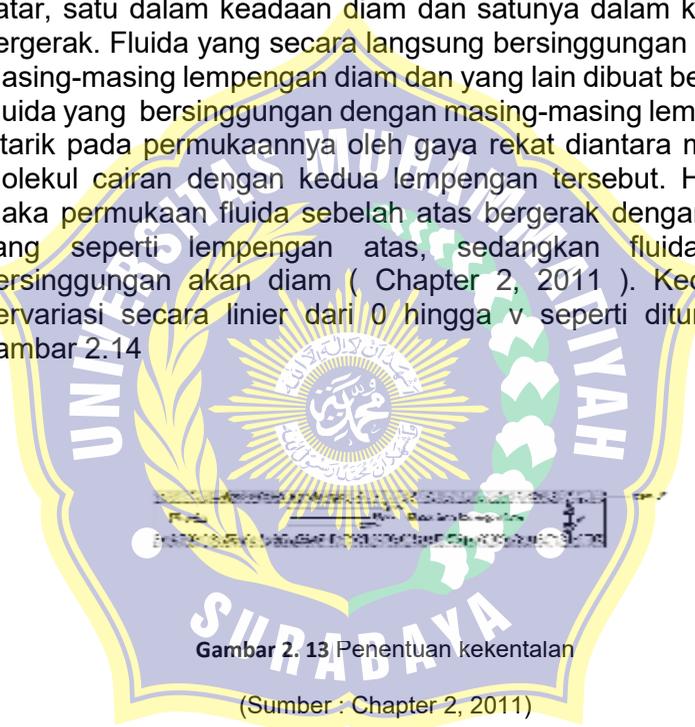
(Sumber : Chapter 2, 2011)

D. Kekentalan (*Viscosity*)

Kekentalan (*viscosity*) didefinisikan sebagai nilai hambatan suatu fluida untuk mengalir. Dalam zat cair, viskositas terjadi disebabkan oleh gaya kohesif antara molekul-

molekulnya, sedangkan pada fluida gas viskositas terjadi disebabkan karena tumbukan diantara molekul-molekul tersebut (Chapter 2, 2011).

Viskositas fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif dengan koefisien kekentalan, μ yang didefinisikan dengan cara berikut : Fluida diletakkan diantara dua lempengan datar, satu dalam keadaan diam dan satunya dalam keadaan bergerak. Fluida yang secara langsung bersinggungan dengan masing-masing lempengan diam dan yang lain dibuat bergerak. Fluida yang bersinggungan dengan masing-masing lempengan ditarik pada permukaannya oleh gaya rekat diantara molekul-molekul cairan dengan kedua lempengan tersebut. Hasilnya maka permukaan fluida sebelah atas bergerak dengan laju v yang seperti lempengan atas, sedangkan fluida yang bersinggungan akan diam (Chapter 2, 2011). Kecepatan bervariasi secara linier dari 0 hingga v seperti ditunjukkan gambar 2.14



Gambar 2. 13, Penentuan kekentalan

(Sumber : Chapter 2, 2011)

$$\mu = \frac{F/A}{v/y} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana : μ = Viskositas fluida (Pa.s)
 F = Gaya (N)

- A = Luas permukaan (m^2)
- v = kecepatan (m/s)
- y = ketinggian fluida (m)

Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

- a. Viskositas kinematik, adalah perbandingan antara viskositas mutlak terhadap rapat jenis/density

$$v = \frac{\mu}{\rho} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana : μ = Viskositas mutlak (kg/m.s)
 ρ = Massa jenis (kg/m^3)

- b. Viskositas dinamik atau viskositas mutlak mempunyai nilai sama dengan hukum viskositas Newton

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana : τ = Tegangan geser pada fluida (kg/m^2)
 du/dy = gradient kecepatan (m/s)

2.2.9. Prinsip Bernoulli

Prinsip Bernoulli menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, dimana terjadinya kenaikan kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari persamaan Bernoulli yg menyatakan jumlah energi pada suatu aliran tertutup pada suatu titik sama dengan titik lainnya (Wikipedia).

Pada mekanika fluida persamaan bernoulli yang banyak dipakai, yang menghubungkan tekanan, kecepatan, dan elevasi bermula di masa Daniell Bernoulli dan Leonhrad Euler dalam abad ke – 18. Persamaan Bernoulli erat kaitannya dengan tekanan (*pressure*), kecepatan aliran (*velocity*) dan ketinggian (h), dari suatu pipa yang fluidanya bersifat tak mampu mampat

(*incompressible*) dan tak kental yang mengalir dengan kondisi tak turbulen



Gambar 2. 14 Tabung Aliran Fluida

(Sumber : PA Wibowo – 2013 repository.unej.ac.id)

Usaha yang dilakukan oleh gaya F_1 adalah $dW_1 = A_1 p_1 dl_1$ sedang pada bagian kanan usahanya $dW_2 = -A_2 p_2 dl_2$

$$dW_1 + dW_2 = A_1 p_1 dl_1 - A_2 p_2 dl_2$$

Sehingga usaha totalnya adalah

$$W_1 + W_2 = A_1 p_1 l_1 - A_2 p_2 l_2$$

Bila massa fluida yang berpindah adalah m dan rapat massa fluida adalah ρ , maka diperoleh persamaan

$$W = (p_1 - p_2) \frac{m}{\rho}$$

Persamaan diatas merupakan persamaan total yang dilakukan oleh fluida. bila fluida bersifat tak kental, maka tak ada gaya gesek sehingga kerja total tersebut merupakan perubahan energi mekanik total fluida yang bermassa (m). Besarnya tambahan energi mekanik total adalah :

$$E = \left(\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \right) + (mgh - mgh_1)$$

Maka

$$(p_1 - p_2) \frac{m}{\rho} = \left(\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \right) + (mgh - mgh_1)$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + pgh_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + pgh_2 \dots (2.9)$$

Sehingga dapat disimpulkan

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + pgh_1 = \text{konstan} \dots (2.10)$$

2.2.10. Jenis dan Karakteristik Fluida

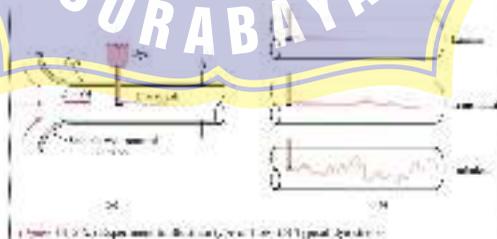
Hal yang berhubungan dengan jenis dan karakteristik aliran fluida yang dimaksudkan aliran tertutup (pipa). Aliran dari zat cair yang melewati pipa dipengaruhi oleh gaya gesek yang menimbulkan terjadinya hambatan antara zat cair dengan dinding pipa aliran pada dinding pipa. Jenis aliran fluida terbagi dalam aliran laminar dan turbulen.



Gambar 2. 15 Proses berkembangnya aliran diatas plat

(Sumber : PA Wibowo – 2013 repository.unej.ac.id)

Aliran laminar memiliki aliran fluida yang bergerak dalam kecepatan rendah, fluida yang bergerak secara sejajar dan tidak memiliki aliran arus turbulen (pusarab air). Sedangkan pada aliran turbulen, fluida bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi, kecepatan aliran tinggi dan memiliki viskositas aliran rendah.



Gambar 2. 16 Perbedaan antara aliran Laminer, transisi dan Turbulent

(Sumber : kurniawan-mechanicalui09.blogspot.com)

Untuk mengetahui jenis aliran fluida yang bekerja dilakukan dengan menghitung nilai bilangan Reynolds (Re).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \dots\dots\dots (2.11)$$

Re = Bilangan Reynolds (tak berdimensi)

v = kecepatan fluida (m/s)

d = diameter pipa (m)

μ = viskositas kinematic (m^2/s)

Pada Bilangan Reynolds yang memiliki nilai lebih besar dari 2300 maka jenis aliran adalah aliran turbulen dan jika aliran memiliki nilai Bilangan Reynolds lebih besar dari 4000 maka jenis aliran adalah aliran turbulen.

Jenis aliran di dalam pipa tergantung pada beberapa faktor, yaitu :

Kecepatan fluida (v) adalah besarnya nilai kecepatan aliran yang mengalir persatuan luas. Satuan dari kecepatan fluida (v) adalah (m/s)

$$v = \frac{Q}{A} \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (2.12)$$

v = Kecepatan aliran (m/s)

Q = Laju aliran (kg/s)

A = Luas penampang (m^2)

Kapasitas aliran (Q) adalah nilai kecepatan aliran fluida yang memberikan banyaknya volume fluida dalam pipa.

$$Q = A \times v \text{ (} m^3/s \text{)} \dots\dots\dots (2.13)$$

Q = Laju aliran (m^3/s)

A = Luas penampang (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

2.2.11. Sistem perpipaan

Pipa adalah saluran tertutup yang berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan zat cair maupun gas (Triatmojo 1996 : 25). Fluida yang dialirkan melalui pipa memiliki tekanan yang bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Jika zat cair didalam pipa tidak memenuhi penampang pipa maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka, karena tekanan didalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair dalam pipa tidak penuh). Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan dipermukaan zat cair sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Aliran viskos adalah aliran zat cair yang mempunyai kekentalan (viskositas). Viskositas pada suatu fluida terjadi pada temperatur tertentu. Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser atau hambatan pada waktu bergerak. Tegangan geser pada suatu fluida dapat mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara, dan sebagainya. Perubahan energi tersebut menyebabkan *head losses*.

Tabel 2.1 Sifat kekentalan air dan Viskositas kinematik pada Tekanan atmosfer

No	Suhu °C	Kekentalan air N.s/ m^2	Viskositas Kinematik
1	0.0	$1,788 \times 10^{-3}$	$1,788 \times 10^{-6}$
2	10.0	$1,307 \times 10^{-3}$	$1,307 \times 10^{-6}$
3	20.0	$1,003 \times 10^{-3}$	$1,005 \times 10^{-6}$
4	30.0	$0,799 \times 10^{-3}$	$0,802 \times 10^{-6}$

5	40.0	$0,657 \times 10^{-3}$	$0,662 \times 10^{-6}$
6	50.0	$0,548 \times 10^{-3}$	$0,555 \times 10^{-6}$
7	60.0	$0,467 \times 10^{-3}$	$0,475 \times 10^{-6}$
8	70.0	$0,405 \times 10^{-3}$	$0,414 \times 10^{-6}$
9	80.0	$0,355 \times 10^{-3}$	$0,365 \times 10^{-6}$
10	90.0	$1,316 \times 10^{-3}$	$0,327 \times 10^{-6}$
11	100.0	$1,283 \times 10^{-3}$	$0,295 \times 10^{-6}$

(Sumber : White 1986 :390)

Viskositas dapat menimbulkan terjadinya aliran laminar dan turbulen. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan dari fluida besar dan kecepatan aliran kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel-partikel zat cair bergerak secara fluktuatif.

2.2.12. Head Pompa

Head Pompa adalah merupaka energi per satuan berat atau tekanan yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan pada instalasi pompa yang direncanakan instalasi pompa, Head pompa pada umumnya dinyatakan dengan satuan Panjang. head total pompa dapat ditulis dengan rumus persamaan sebagai berikut :

$$H = h_a + \Delta h_p + h_t + \frac{v_2^2 d}{2g} \dots \quad (2.14)$$

Dimana :

H = Head total pompa (m)

h_a = Head statis total (m)

Head ini adalah perbandingan tinggi antara muka air disisi isap; tanda positif + dipakai

apabila muka air disisi keluar lebih tinggi dari pada sisi isap

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

$$\Delta h_p = h_{p2} - h_{p1}$$

h_t = Berbagai kerugian head dipipa, katup, belokan dan sambungan lain-lain

$v^2/2g$ = Head kecepatan keluar

g = percepatan gravitasi (= 9,8 m/s²)

Adapun hubungan antara tekanan dan head tekanan dapat diperoleh dari rumus berikut :

$$h_p = 10 \times \frac{\rho}{\gamma} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

h_p = Head tekanan (m)

γ = Berat persatuan voume zat yang dipompa (kgf/l)

ρ = Tekanan (kgf/ cm³)

2.2.13. Head Losses

Adanya kekentalan pada fluida akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan merubah sebagian energi aliran menjadi bentuk lain energi panas, suara dan sebagainya. Perubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi. *Head losses* yaitu head untuk mengatasi kerugian kerugian. Secara umum *head losses* dibagi menjadi dua macam, yaitu :

A. Head Losses Mayor

Kehilangan longitudinal, yang disebabkan oleh gesekan sepanjang lingkaran pipa. Ada beberapa persamaan yang

dapat digunakan dalam menentukan kehilangan longitudinal h_f apabila panjang pipa L meter dan diameter d mengalirkan kecepatan rata-rata V . Menurut White (1986), salah satu persamaan yang dapat digunakan adalah persamaan Darcy-Weisbach yaitu :

$$h_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana : f = faktor gesekan (Diagram Moody)

L = panjang pipa (m)

d = diameter pipa (m)

$V^2/2g$ = head kecepatan

B. Head Losses Minor

Untuk setiap sistem pipa, selain kerugian tipe moody yang dihitung untuk seluruh panjang pipa, ada pula yang dinamakan kerugian kecil (kerugian minor). Kerugian kecil ini disebabkan hal antara lain lubang masuk atau lubang keluar pipa, pembesaran atau pengecilan tiba-tiba, belokan, sambungan, katup dan pengecilan dan pembesaran secara berangsur-angsur.

Karena pola aliran dalam katup maupun sambungan cukup rumit, teorinya sangat lemah. Kerugian ini biasanya diukur secara eksperimental dan dikorelasikan dengan parameter-parameter aliran pipa. Kerugian kecil terukur biasanya diberikan nisbih kerugian hulu.

Belokan pada pipa menghasilkan kerugian head yang lebih besar dari pada jika pipa lurus. Kerugian-kerugian tersebut disebabkan daerah-daerah aliran yang terpisah didekat sisi dalam belokan (khususnya jika belokan tajam) dan aliran sekunder yang berpusar karena ketidak seimbangan gaya-gaya sentripetal akibat kelengkungan sumbu pipa.

Ada dua macam belokan pipa, yaitu belokan lengkung dan belokan patah (*mitter atau multipiece bend*). Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus Fuller (Sularso,1983), dimana nilai dari koefesien kerugian dinyatakan sebagai :

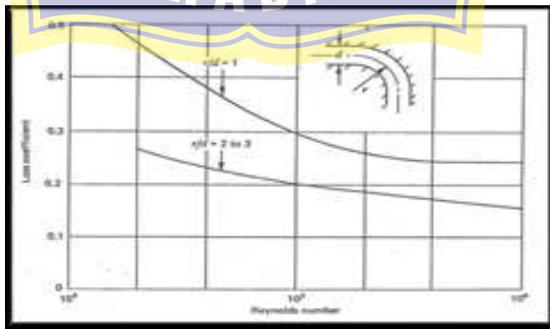
$$k_{kb} = [0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R}\right)^{3,5}] \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,5} \dots\dots\dots (2.17)$$

- Dimana :
- k_{kb} = koefisien kerugian belokan
 - D = diameter pipa (m)
 - R = jari-jari belokan pipa (m)
 - θ = sudut belokan (derajat)

Kemudian untuk mengetahui kerugian head dapat menggunakan persamaan dibawah ini (White, 1986) :

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.18)$$

Berikut adalah gambar rerugi kelokan tambahan, dimana terjadi variasi koefisien kerugian karena pengaruh perubahan bilangan Reynoldsnnya. Sebagaimana terlihat pada gambar, perbandingan jari-jari kelokan dengan diameter (r/d) juga mempengaruhi besar kerugiannya.



Gambar 2. 17 Efek Bilangan Reynolds terhadap koefisin kerugian pada elbow 90°

(Sumber : Donald S. Miller, 1978)

2.2.14. Kecepatan Spesifik Pompa (*specific velocity*)

Kecepatan spesifik (*specific velocity*) digunakan sebagai parameter jenis pompa, menentukan profil atau bentuk umum impeller. Untuk menentukan kecepatan spesifik dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut (Sularso, 1983) :

$$n_s = n \times \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

n = putaran pompa (rpm)

Q = Kapasitas pompa (m³/min)

H = Head pompa (m)

Dimana n, Q, dan H merupakan harga-harga pada titik efisiensi tertinggi pada pompa

2.2.15. Head Isap Positif Neto atau NPSH

Kavitasi terjadi bila tekanan statis suatu aliran zat cair turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya. Untuk menghindari kavitasi maka dibutuhkan tekanan statis yang lebih rendah dari tekanan uap jenuh cairan pada temperatur yang bersangkutan. Dalam hal ini perlu diperhatikan dua macam tekanan yang memegang peranan. Pertama tekanan yang ditentukan oleh kondisi lingkungan dimana pompa dipasang, dan kedua tekanan yang ditentukan oleh keadaan aliran di dalam pompa. Di bawah ini akan diuraikan dua macam NPSH, yaitu NPSH yang tersedia dan NPSH yang diperlukan.

A. Net Positif Suction Head (NPSH) Yang Tersedia

NPSH yang tersedia adalah head yang dimiliki oleh zat cair pada sisi isap pompa (ekivalen dengan tekanan mutlak pada sisi isap pompa), dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair ditempat tersebut. Npsh yang tersedia ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Sularso, 1983):

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{is} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

h_{sv} = NPSH yang tersedia (m)

P_a = Tekanan atmosfer (kgf/m²)

γ = Berat zat cir persatuan volume (kgf/m²)

h_s = Head isap statis (m)

h_s adalah positif (+) jika pompa terletak di atas permukaan zat cair yang diisap , dan negatif (-) jika dibawah

h_{is} = Kerugian head didalam pipa hisap (m)

B. Net Positive Suction Head (NPSH) Yang Diperlukan

NPSH yang diperlukan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Sularso, 1983) :

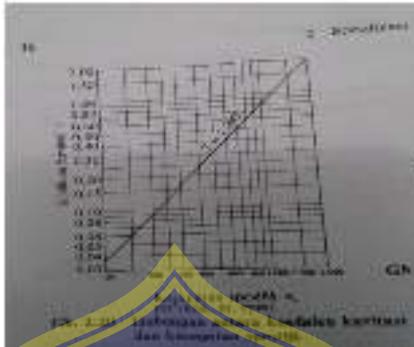
$$HSVN = \sigma \times HN \dots\dots (2.19)$$

Dimana :

σ = koefisien angka Thoma

HN = Head total pompa

Koefisien angka Thoma (σ) dapat ditentukan menggunakan Diagram Hubungan antara koefisien kavitasi dan kecepatan spesifik.



Gambar 2. 18 Hubungan antara koefisien kavitasi dengan kecepatan spesifik pompa
(Sumber : Sularso, 1983)

2.2.16. *Computational Fluid Dynamci (CFD)*

Computational fluid dynamic atau sekarang yang dikenal sebagai CFD adalah sekumpulan metodologi yang menggunakan komputer untuk melakukan simulasi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena aliran lainnya dengan memecahkan persamaan Navier-Stokes secara numerik.

Persamaan Navier-Stokes adalah persamaan umum untuk fenomena aliran fluida yang notabene adalah persamaan mekanika klasik yang solusi analitiknya sampai saat ini belum terpecahkan. Masalah persamaan Navier-Stokes ini selain dunia fisika & terapannya, menjadi masalah tersendiri pula bagi matematikawan dan diangkat menjadi salah satu dari tujuh masalah milenium (*seven millenium problems*); dihadiahkan 1 juta US\$ bagi siapa saja yang dapat memecahkan masalah pada *seven millenium problems* tersebut oleh Clay Mathematics Institute, Harvard University. Dalam CFD, kita menyelesaikan persamaan Navier-Stokes secara numerik alih-alih menyelesaikan Persamaan Navier-Stokes secara analitik.

Computational fluid dynamics (CFD) atau dalam bahasa Indonesia disebut juga sebagai dinamika fluida komputasi dapat dibagi menjadi dua istilah, yaitu *computational* dan *fluid*

dynamics. *Fluid dynamics* mengartikan bahwa kita membahas dinamika fluida (sifat-sifat aliran fluida dan transfer panas) itu sendiri, sedangkan istilah *computational* mengartikan bahwa bahasan kita tentang dinamika fluida dihitung dan disimulasikan dengan seperangkat metode numerik dengan bantuan komputer. Kata 'simulasi' disini mengindikasikan bahwa kita menggunakan komputer untuk menyelesaikan sekumpulan hukum (atau persamaan-persamaan fisis) yang mengatur peristiwa pergerakan fluida dimana geometrinya telah dimodelkan pula dengan bantuan komputer. Dengan CFD, dapat dibangun prototipe, dianalisa, dievaluasi, serta dioptimasi suatu sistem semisal blok mesin, pesawat terbang, terowongan angin, sistem perpipaan, dan lain sebagainya. Berikut merupakan penggunaan CFD, yaitu :

- a. Desain ruang lingkungan yang aman dan nyaman.
- b. Desain kendaraan untuk memaksimalkan karakter aerodinamiknya.
- c. Desain blok mesin untuk mengoptimalkan pembakarannya.
- d. Analisis kegagalan (*failure*) untuk mencari sumber-sumber kegagalan misalnya pada sistem pembakaran, aliran uap panas, dan perpipaan.
- e. Mempelajari reaksi pembakaran dan pendinginan.
- f. Dan lain sebagainya

Ada tiga manfaat umum CFD yang dikenal secara luas, yaitu *insight*, *foresight* dan *efficiency*.

Insight – Pemahaman Mendalam. Ada banyak sistem yang ingin kita pelajari, namun sulit untuk dibuat prototipenya atau sulit untuk diuji coba, misalnya adalah organ pernafasan dan sistem arterial. Dengan CFD, dapat dibuat prototipe virtual yang mana dapat menambah pemahaman kita tentang suatu peristiwa yang melibatkan aliran fluida.

Foresight-Prediksi. Pada dasarnya, CFD digunakan untuk memprediksi, dengan CFD kita dapat dengan mudah menjawab pertanyaan tipikal 'bagaimana jika' (*how if questions*) dengan mengubah parameter, geometri, serta kondisi batasnya sehingga didapatkan desain yang optimal.

Efficiency-Efisiensi. Dengan bantuan CFD, proses mendesain sistem akan menjadi lebih hemat dan efisien, baik dari segi biaya, tenaga, dan waktu. Dengan CFD waktu riset dapat diperpendek dan biaya riset dapat dipangkas.

2.2.17. Solidwork Flow Simulation

Solidwork Flow simulation adalah program Analisa yang digunakan untuk menganalisa simulasi panas (*thermal*) dan simulasi aliran fluida yang disertakan pada software Solidwork. Dengan *Solidwork Flow simulation* kebutuhan untuk memodifikasi desain pada aplikasi Computational fluid Dynamics lainnya bisa dihilangkan sehingga dapat meminimalisir waktu dan biaya.

Solidwork flow simulation dapat digunakan untuk melakukan simulasi aliran cairan dan gas seperti dalam kondisi di dunia nyata, menjalankan skenario "*what if*" dan menganalisa dengan cepat efek yang terjadi pada sebuah aliran fluida, perpindahan panas, dan dorongan/ paksaan terkait pada komponen yang diredam atau komponen disekitarnya. Analisis fluida yang menarik untuk dilakukan antara lain terdiri dari udara, air, cairan kimia, gas, dan fluida-fluida lainnya. Berikut merupakan fitur *solidwork flow simulation* :

Radiation heat transfer analysis : fitur ini digunakan untuk melihat bagaimana panas ditransfer antara *high temperature surfaces* serta bisa digunakan untuk menghitung radiasi matahari.

Internal flow analysis : fitur ini dapat berkerja bagaimana cairan dan gas melewati pipa, katup, regulator, dan saluran-saluran lainnya.

Rotating reference frame analysis : digunakan untuk memahami arus rotasi yang pada desain mesin turbo seperti pada pmpa dan dorongan.

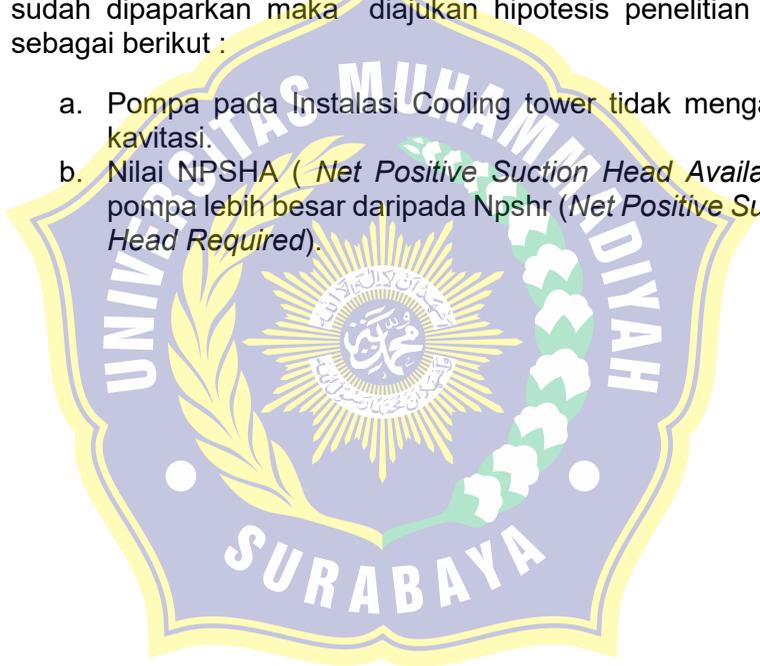
Transient flow analysis : simulasi aliran untuk aliran yang tidak stabil dari waktu ke waktu.

Conduction and convection heat transfer analysis : Digunakan untuk melihat aliran panas mengalir pada sebuah benda .

2.3. Hipotesis

Berdasarkan kajian impiris atas pengaruh berbagai variabel serta teori-teori pendukung dan hasil penelitian yang sudah dipaparkan maka diajukan hipotesis penelitian yaitu sebagai berikut :

- a. Pompa pada Instalasi Cooling tower tidak mengalami kavitasi.
- b. Nilai NPSHA (*Net Positive Suction Head Available*) pompa lebih besar daripada Npshr (*Net Positive Suction Head Required*).





Halaman ini sengaja dikosongkan

