

**PENGUKURAN ALIRAN BENDALIR MENGGUNAKAN VENTURI METER
DENGAN KAEDAH EKSPERIMEN DAN SIMULASI CFX**

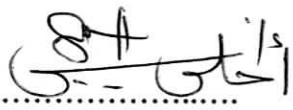
ROZITA BINTI SALEHUDIN

Laporan ini diserahkan kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Termal Bendalir)


**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

April 2007

“Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini dan pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Thermal Bendalir)

Tandatangan : 
Nama Penyelia : En Ahmad Anas b Yusof
Tarikh : 6 April 2007

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang
tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya”

Tandatangan :.....
Nama Penulis : Rozita Binti Salehudin
Tarikh : 6 April 2007

DEDIKASI

Dedikasi kepada keluarga, pensyarah dan rakan-rakan. Terima kasih atas sokongan dan bantuan yang di hulurkan.

ABSTRACT

Flowmeter in flow measurement can be divided into four main groups. They are flowmeter differential pressure, positive displacement, velocity and mass flowmeter. This research concentrates on the type of differential pressure flowmeter or head loss. This differential pressure flowmeter has two different types as internal flow and external flow. The internal flow are venturi meter and orifice meter. On the other hand, tube pitot is included in the external flow group. Each of these flowmeters has its own design respectively. However, they use the same measurement principle based on Bernoulli's law. Briefly, the differential pressure occurs when the fluid velocity increases due to the decrease of area. So, the pressure in the fluid increases. It indicates the value of discharge or flow rate in the fluid. The research has been done to solve the available problems in flow measurement like accuracy, performance, applications, installation and initial cost to cover installation and maintenance costs. The research methodology methods focus on three flowmeters where secondary devices as manometers are used to measure the differential pressure. The method focuses on their parameters like discharge, discharge coefficient, velocity and head loss. The scopes cover the operation process and design of venturi meter, orifice meter and tube pitot. It also includes the changing of pressure observation, factors influencing discharge and accuracies measurement and flowmeter selection. The expected results show that velocity and pressure have an indirect relationship due to the decreasing area. The performance of the venturi meter is greater than the orifice meter and tube pitot. The flow out from the venturi meter shows that the turbulent flow indicates the Reynolds number specification. It states that under 2000 is the laminar flow, above 4000 is the turbulent flow. The ranges of transition flow are between 2000 and 4000.

ABSTRAK

Pengukuran aliran boleh ditentukan dengan menggunakan alat meter alir yang dikelaskan dalam 4 kategori utama iaitu meter alir perbezaan tekanan, anjakan positif, halaju dan jisim. Kajian yang dilakukan akan menggunakan meter alir jenis perbezaan tekanan atau kehilangan turus. Ia merangkumi jenis aliran dalaman seperti meter venturi dan meter orifis dan aliran luaran seperti tiub pitot. Setiap alat meter alir tersebut mempunyai rekabentuk yang berbeza tetapi prinsip pengukuran yang digunakan adalah sama berdasarkan prinsip Bernoulli. Ringkasnya ia melibatkan penentuan perbezaan tekanan apabila halaju meningkat terhadap pengurangan luas keratan rentas menyebabkan tekanan meningkat dan ia menggambarkan nilai kadar alir di dalam aliran tersebut. Kajian dilakukan untuk mengkaji permasalahan yang sering berlaku dalam pengukuran aliran seperti ketepatan ukuran, kecekapan, penggunaan, pemasangan dan kos permulaan yang termasuk juga kos pemasangan dan penyelenggaraan. Metodologi yang diaplikasikan dalam kajian ini amnya merujuk kepada ketiga-tiga alat meter alir tersebut selain alat sekunder seperti manometer untuk mengukur perbezaan tekanan. Kaedah tersebut mengkaji terhadap parameter seperti kadar alir, pekali kadar alir, halaju dan kehilangan turus. Skop kajian tertumpu kepada proses operasi dan rekabentuk meter venturi, meter orifis dan tiub pitot, pembandingan meter alir, pemerhatian perubahan tekanan, faktor yang mempengaruhi kadar alir, ketepatan pengukuran serta pemilihan meter alir. Keputusan yang dijangkakan hasil kajian adalah halaju dan tekanan berkadar songsang terhadap luas keratan rentas, kecekapan meter venturi lebih tinggi berbanding meter orifis dan tiub pitot, aliran yang keluar pada meter venturi adalah aliran gelora berdasarkan nombor Reynold. Ia menyatakan di bawah 2000 aliran adalah laminar, di atas 4000 adalah aliran gelora dan antara 2000 dan 4000 adalah aliran peralihan.

ISI KANDUNGAN

TAJUK	MUKASURAT
Abstract	iv
Abstrak	v
Isi Kandungan	vi
Senarai Jadual	ix
Senarai Rajah	x
Senarai Simbol	xiii
1 Pengenalan	1
1.1 Latar Belakang Masalah	2
1.2 Pernyataan Masalah	3
1.3 Objektif	3
1.4 Skop	4
1.5 Kepentingan Kajian	4
1.6 Keputusan Kajian yang dijangka	5
2 Kajian Literatur	
2.0 Pengenalan	6
2.1 Prinsip Bernoulli	7
2.2 Jenis-jenis meter alir	8
2.2.1 Meter Alir Perbezaan Tekanan atau Meter Turus	9
2.3 Meter Orifis	11
2.4 Plat Meter Orifis	14
2.4.1 Plat Orifis Tumpu	14
2.4.2 Plat Orifis Sipi	15
2.4.3 Plat Orifis Beruas	15
2.4.4 Plat Orifis Sisi Suku	16

2.5	Meter Venturi	17
2.6	Tiub Pitot	19
2.7	Faktor yang mempengaruhi kadar alir dalam paip	23
	2.7.1 Halaju bendalir	23
	2.7.2 Geseran bendalir terhadap dinding paip	24
	2.7.3 Kelikatan bendalir	24
	2.7.4 Ketumpatan bendalir	25
2.8	Faktor yang mempengaruhi ketepatan pengukuran aliran bendalir	26
	2.8.1 Kadar Peratusan	26
	2.8.2 Peratus nilai julat atas	27
	2.8.3 Kebolehulangan	28
	2.8.4 Sistem Ketepatan	28
2.9	Pemilihan jenis pengukuran meter alir	29
	2.9.1 Ketepatan	29
	2.9.2 Kos	29
	2.9.3 Julat Kadar Alir	30
	2.9.4 Kehilangan Turus	31
	2.9.5 Jenis pengukuran dan rekod data yang diperlukan	31
	2.9.6 Penyelenggaraan	32
3	METODOLOGI	33
	3.0 Pengenalan	34
	3.1 Pendekatan Metodologi	34
	3.2 Metodologi Kajian	35
	3.2.1 Kajian terhadap kadar alir dan pekali kadar alir	35
	3.2.2 Kajian terhadap kehilangan turus meter venturi	36
	3.2.3 Kajian terhadap kadar alir udara menggunakan tiga teknik berbeza.	39
	3.2.4 Simulasi CfX	43
	3.2.5 Kelebihan dan kekurangan menggunakan CFD	43

3.3	Langkah-langkah menghasilkan simulasi CFD.	44
3.3.1	Metodologi simulasi CFX	45
3.3.2	Workbench	45
3.3.3	Geometri	45
3.3.4	Jejaring / Mesh	46
3.3.5	Pre-processor	47
3.3.6	Domain (Bahan yang digunakan)	47
3.3.7	Keadaan Sempadan	48
3.3.8	Solver	48
3.3.9	Pre-post	48
4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	50
4.1	Keputusan bagi kaedah eksperimen	51
4.1.1	Contoh Pengiraan	51
4.2	Keputusan,Perbandingan dan perbincangan	52
5	KESIMPULAN	66
6	CADANGAN	69
7	RUJUKAN	71
	LAMPIRAN	73

SENARAI JADUAL

NOMBOR JADUAL	TAJUK	MUKASURAT
1.6	Penentuan jenis aliran terhadap nombor Reynold. (Bruce R. Munson <i>et all</i> ,2002)	5
2.9	Pembandingan alatan pengukuran aliran	30
4.1	Keputusan ujikaji halaju bendalir pada meter venturi	51
4.2(a)	Perbandingan nilai luas terhadap halaju untuk keputusan eksperimen dan simulasi cfx pada kadar alir 4 L/min	53
4.2(b)	Perbandingan nilai halaju terhadap tekanan untuk keputusan eksperimen dan simulasi cfx pada kadar alir 4 L/min.	53
4.2(c)	Perbandingan nilai luas terhadap halaju untuk keputusan eksperimen dan simulasi cfx pada kadar alir 6 L/min	57
4.2(d)	Perbandingan nilai halaju terhadap tekanan untuk keputusan eksperimen dan simulasi cfx pada kadar alir 6 L/min.	58
4.2(e)	Perbandingan nilai luas terhadap halaju untuk keputusan eksperimen dan simulasi cfx pada kadar alir 8 L/min	62
4.2(f)	Perbandingan nilai halaju terhadap tekanan untuk keputusan eksperimen dan simulasi cfx pada kadar alir 8 L/min.	62

SENARAI RAJAH

NOMBOR RAJAH	TAJUK	MUKASURAT
2.2 (a)	Jenis-jenis meter alir.(Jesse Yoder,2005)	8
2.2 (b)	Jenis-jenis meter alir di bawah kumpulan meter alir perbezaan tekanan	10
2.3 (a)	Struktur dalaman meter orifis. (Bruce R. Munson <i>et all</i> ,2002)	10
2.3 (d)	Pekali kadar alir meter orifis. (Bruce R. Munson <i>et all</i> ,2002)	12
2.4 (a)	Jenis Plat Orifis pada pandangan sisi.(Ashish Kulkarni <i>et all</i> ,2005)	14
2.4 (b)	Plat Orifis Tumpu	15
2.4 (c)	Plat Orifis Sipi	15
2.4 (d)	Plat Orifis Beruas	16
2.4 (e)	Plat Orifis Sisi Suku	16
2.4 (f)	Perbandingan bentuk plat orifis mengikut fungsinya	17
2.5 (a)	Struktur dalaman meter venturi. (Bruce R. Munson <i>et all</i> ,2002)	17
2.5 (b)	Pekali kadar alir venturi. (Bruce R. Munson <i>et all</i> ,2002)	18
2.6 (a)	Struktur kedudukan tiub pitot. (Andrews <i>et all</i> , 1979)	19
2.6 (b)	Annubar	21
2.6 (c)	Tiub Pitot	21
2.6 (d)	Profil Halaju (<i>Velocity Profile</i>)	22
2.7 (a)	Perbandingan ketiga-tiga jenis bentuk aliran di dalam bendalir	25
2.8 (a)	Perbandingan ketepatan	27
3.0 (a)	Proses Aliran Metodologi	33
3.2 (a)	Rekabentuk kombinasi antara meter venturi dan meter orifis	35
3.2 (b)	Rekabentuk apparatus bekas hidraulik, meter venturi dan manometer	37
3.2 (c)	Rekabentuk apparatus meter venturi dan manometer (Pandangan Hadapan)	37
3.2 (d)	Penerangan diagram apparatus pengukuran aliran	38

3.2 (e)	Meter orifis	39
3.2 (f)	Meter Venturi	39
3.2 (g)	Tiub Pitot	40
3.2 (h)	Kombinasi ketiga-tiga alat meter orifis, venturi dan tiub pitot pada satu litar apparatus	40
3.2 (i)	Laluan aliran yang akan membentuk jenis aliran tersebut	42
3.3(a)	Carta alir kaedah perlaksanaan simulasi CFD	44
3.3(b)	Gambarajah geometri model venturi meter	46
3.3(c)	Gambarajah jejaring/mesh pada venturi meter	47
3.3(d)	Gambarajah data jenis simulasi	47
3.3(e)	Proses memasukkan data domain	48
3.3(f)	Gambarajah proses memasukkan parameter simulasi	48
3.3(g)	Hasil keputusan pada Pre-post	49
4.2(a)	Graf luas melawan halaju pada kadar alir 4L/min.	54
4.2(b)	Graf halaju melawan tekanan pada kadar alir 4L/min.	55
4.2(c)	Keputusan simulasi cfx untuk perubahan halaju pada kadar alir 4L/min.	56
4.2(d)	Keputusan simulasi cfx untuk perubahan tekanan pada kadar alir 4L/min.	56
4.2(e)	Graf luas melawan halaju pada kadar alir 6L/min	58
4.2(f)	Graf halaju melawan tekanan pada kadar alir 6L/min.	59
4.2(g)	Keputusan simulasi cfx untuk perubahan halaju pada kadar alir 6L/min.	60
4.2(h)	Keputusan simulasi cfx untuk perubahan tekanan pada kadar 6L/min.	61
4.2(i)	Graf luas melawan halaju pada kadar alir 6L/min	63
4.2(j)	Graf halaju melawan tekanan pada kadar alir 6L/min.	64
4.2(k)	Keputusan simulasi cfx untuk perubahan halaju pada kadar alir 8L/min.	65
4.2(l)	Keputusan simulasi cfx untuk perubahan tekanan	65

pada kadar alir 8L/min.

- | | | |
|------|---|----|
| 5(a) | Struktur dalaman bahagian meter venturi yang menunjukkan pembentukan panjang masukan pada bahagian masukan meter venturi. | 68 |
| 5(b) | Struktur dalaman bahagian meter venturi yang menunjukkan Panjang masukan lapisan sempadan gelora adalah lebih pendek. | 69 |

SENARAI SIMBOL

SIMBOL	PENERANGAN
u	Halaju
π	Pai (3.142)
d	Diameter paip kecil
r	jejari
D	Diameter paip besar
ρ	Ketumpatannya (kg/m^3)
τ	Aliran tidak mengalami geseran
P	Tekanan bendalir statik pada luas keratan rentas (N/m^2)
$\delta / \delta t$	Aliran mantap
g	Tarikan graviti [9.81 m/s^2 (m/s^2)]
v	Purata halaju aliran bendalir luas keratan rentas (m/s)
z	Keringgian pusat aras
h	Jumlah turus (m)
d/D	Diameter paip (Nisbah Beta)
β	Nisbah diameter leher ke paip
\pm	Julat penerimaan dan penolakkan

SUBSKRIP

A

 A_2 A_o A_r C_c C_o

Q

 Q_{ideal} C_d C_v **PENERANGAN**

Luas keratan rentas

Luas keratan rentas vena kontaktor

Luas keratan rentas plat berlubang

Luas keratan rentas bahagian leher (*throat*)

Pekali pengecilan

Pekali kadar alir orifis

Kadar alir

Kadar alir sebenar

Nilai pekali kadar alir

Pekali kadar alir meter venturi

UNITS

gpm

URV

Re

l/min

mm

kg/s

PENERANGAN

Galen per minit

Ketepatan aliran menggunakan nilai julat
peratusan atas

Nombor Reynold

liter per minit

milimeter

kilogram per saat.

BAB 1

PENGENALAN

Pengukuran aliran adalah dua perkataan yang berbeza makna tetapi apabila disatukan membawa maksud yang ideal untuk menerangkan fenomena yang tercetus disekeliling kita ini terutamanya yang melibatkan medium seperti bendalir. Pengukuran didefinisikan sebagai satu kaedah yang diaplikasikan untuk mendapatkan nilai atau bacaan sesuatu parameter seperti kadar alir atau halaju. Aliran didefinisikan sebagai satu gerakan yang berubah secara berterusan di antara zarah-zarah atau bahagian yang dikenali sebagai bendalir. Umumnya pengukuran aliran adalah kritikal dimana ia memerlukan pengukuran aliran yang tepat selain faktor kelakuan bendalir yang turut menjadi faktor yang mempengaruhinya. Di samping itu, ia penting dipertimbangkan di dalam proses kawalan.

Tambahan juga aliran keseluruhan proses seharusnya nilai yang diperolehi dapat meminimumkan kebolehubahan yang terjadi pada bacaan tersebut. Di samping itu, kadar keboleh keluaran semula yang baik sudah memadai. Sistem aliran memerlukan tenaga yang dijanakan oleh komponen luar seperti pam dan pemampat untuk menghasilkan perbezaan tekanan yang dipandu oleh kuasa. Sensor aliran seharusnya dapat mengesan kadar rintangan aliran kecil supaya dapat meningkatkan penggunaan proses tenaga semaksimum yang boleh. Kebanyakan sensor aliran memerlukan bahagian paip yang lurus pada sebelum dan selepas sensor tersebut. Ini merupakan satu keperluan yang dibataskan terhadap rekabentuk proses yang diterima pakai. Alternatif lain, kebanyakannya cenderung untuk menggantikannya dengan meluruskan bilah kipas yang diletakkan pada

paip. Kebanyakan sensor tersebut bergantung kepada perbezaan atau kejatuhan tekanan atau kehilangan turus yang berlaku di dalam aliran bendalir yang disebabkan oleh rintangan. Hubungan antara kadar alir dan perbezaan tekanan dapat ditentukan dengan mengaplikasikan persamaan Bernoulli dengan menganggap perubahan ketinggian aras, kerja dan pemindahan haba diabaikan.

1.1 Latar Belakang Masalah

Kajian terhadap pengukuran aliran banyak membantu terhadap pemilihan meter alir yang sesuai. Biasanya ianya banyak diaplikasikan di industri seperti di dalam sistem pengairan. Antara masalah yang telah dikenal pasti adalah seperti proses penggunaannya terhadap persekitaran atau dikenali mesra alam. Contohnya pengaruh terhadap suhu juga dapat mempengaruhi karektor di dalam bendalir.

Selain itu, masalah utama adalah tahap ketepatan pengukuran meter alir terhadap pengukuran yang dilakukan. Contohnya di dalam mengukur halaju setempat pada satu titik, nilai purata diperolehi kecuali aliran adalah mantap. Faktor kos juga penting sebagai perbandingan kerana ianya tidak hanya kos permulaan tetapi kos pemasangan dan penyelenggaraan dari masa ke semasa. Masalah kecekapan meter alir turut dipengaruhi oleh tahap kekerapan kerja-kerja penyelenggaraan yang dibuat kerana ianya memerlukan sistem yang tersusun. Faktor lain seperti kesesuaian meter alir tersebut terhadap penggunaannya serta kaedah pemasangan yang kompleks.

1.2 Pernyataan Masalah

Kajian terhadap pengukuran aliran adalah salah satu alternatif yang dibuat untuk mengatasi masalah yang berlaku dalam pengukuran aliran ketika ini. Antara persoalan-persoalan utama dalam menyelesaikan masalah di dalam pengukuran aliran ialah:

- a. Tahap keberkesanan ketepatan alatan meter alir terhadap pengukuran aliran.
- b. Kesesuaian alatan meter alir terhadap penggunaannya di dalam kes-kes tertentu.
- c. Perbandingan kos antara meter alir yang memberi impak terhadap jangka hayat dan fungsi alat tersebut.
- d. Keupayaan alat meter alir untuk memberi tindak balas kepada keadaan sekelilingnya.
- e. Tahap kekerapan penyelenggaraan untuk memastikan tahap kecekapannya pada tahap maksima
- f. Proses pemasangan alat meter alir di industri.

1.3 Objektif

Objektif kajian ini ialah:

- a. Mengaplikasikan prinsip Bernoulli di dalam pengukuran aliran perbezaan tekanan.
- b. Membuktikan aliran adalah berkadar terus terhadap nilai punca kuasa dua perbezaan tekanan di antara masukan dan leher meter venturi.
- c. Menentukan nilai halaju bendalir dan tekanan pada venturi meter menggunakan kaedah simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) kod CFX.
- d. Menentukan halaju dan tekanan mengikut luas pada venturi meter serta perkaitan antara luas dan halaju serta tekanan

1.4 Skop

Skop kajian ini adalah:

- a. Mengaplikasikan alatan meter alir jenis perbezaan tekanan atau kehilangan turus yang terbahagi kepada dua jenis iaitu aliran luaran seperti tiub pitot dan aliran dalaman seperti meter venturi dan meter orifis.
- b. Membuat pemerhatian terhadap perubahan tekanan dan halaju pada meter alir jenis venturi meter pada setiap titik luas keratan rentas.
- c. Mengkaji faktor-faktor luar seperti faktor yang mempengaruhi kadar alir, ketepatan pengukuran dan pemilihan jenis meter alir yang digunakan.
- f. Membuat perbandingan keputusan antara kaedah simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) kod CFX dan eksperimen

1.5 Kepentingan Kajian

Antara kepentingan kajian ialah:

- a. Memastikan masalah dalam pengukuran aliran dapat dikurangkan atau di atasi dengan efektif.
- b. Memahami lebih mendalam teori dan prinsip seperti hukum Bernoulli di dalam pengukuran aliran yang sering terjadi di dalam paip.
- c. Pemilihan jenis paip yang akan digunakan terhadap aliran di dalam bendalir.
- d. Mengenalpasti faktor-faktor yang mempengaruhi aliran terutama di dalam paip seperti saiz diameter paip, jenis bahan paip, geseran pada dinding paip, halaju dan lain-lain untuk menambahkan kecekapan sistem.
- e. Pemilihan alatan meter alir yang sesuai dapat mengurangkan kos operasi terutamanya di industri.
- f. Sektor industri seperti sektor pengairan akan mendapat faedah terhadap keberkesanan dan penyelesaian masalah terhadap pengukuran aliran.

1.6 Keputusan Kajian yang dijangka

Di antara keputusan dijangka terhadap ujikaji yang dijalankan adalah seperti berikut:

- a. Aliran yang keluar daripada meter venturi adalah jenis gelora. Jadual 1.6 adalah had penentuan aliran berdasarkan nombor Reynold.
- b. Apabila bendalir melalui luas keratan rentas yang kecil seperti leleher venturi menyebabkan halaju meningkat dan tekanan adalah rendah akibat perbezaan tekanan pada dua bahagian dan akan menghasilkan kadar alir.
- c. Halaju akan menurun apabila tekanan meningkat. Kedua-dua adalah saling berkadar songsang.

Jadual 1.6: Penentuan jenis aliran terhadap nombor Reynold. (Bruce R. Munson *et al*,2002).

Bil	Jenis Aliran	Nombor Reynold
1	Laminar	Di bawah 2000
2	Peralihan	Di atas 4000
3	Gelora	Antara 2000 hingga 4000

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.0 Pengenalan

Pengukuran aliran merupakan aspek penting di dalam proses kawalan. Ini kerana ia boleh diaplikasikan dengan baik dan sering digunakan untuk mengukur dalam pelbagai proses. Di dalam kajian ilmiah ini akan membincangkan kaedah pengukuran yang digunakan di dalam pengukuran aliran. Fokus utama adalah dari meter alir jenis perbezaan tekanan atau perbezaan turus iaitu meter venturi, meter orifis dan tiub pitot. Konsep operasi ketiga-tiga alat tersebut berdasarkan kepada prinsip Bernoulli yang dihuraikan lebih lanjut di dalam bab ini. Biasanya parameter yang akan diukur menggunakan alat meter alir tersebut ialah kadar alir, Q dan halaju, u di mana dipengaruhi terhadap perbezaan tekanan dan luas keratan rentas pada meter alir tersebut. Faktor-faktor lain dipertimbangkan di dalam mendapatkan nilai kadar alir seperti halaju, geseran, kelikatan dan ketumpatan.

Pemilihan alat meter alir yang sesuai mengikut operasi yang digunakan melibatkan beberapa aspek seperti kadar alir, saiz paip, kehilangan tekanan dan keselamatan. Ia juga turut memberi impak terhadap nilai ketepatan bacaan yang diperolehi dan kecekapan keseluruhan meter alir yang digunakan.. Selain itu, aspek ketepatan ukuran sangat penting di mana ia dipengaruhi oleh kadar peratusan, peratusan nilai julat atas, kebolehlulangan dan sistem ketepatan.

2.1 Prinsip Bernoulli

Prinsip Bernoulli telah diasaskan oleh Daniel Bernoulli (1700-1782) pada tahun 1738 (Bruce R. Munson *et al*,2002). Prinsip ini menerangkan apabila bendalir tidak likat mengalir di sepanjang paip yang pada luas keratan rentas yang berubah-ubah kemudian mengalami tekanan rendah di bahagian tirus. Ianya disebabkan oleh halaju yang tinggi kerana keadaan bendalir bergenang dan sistem paip yang terbuka pada keluarannya. Maka dirumuskan bahawa tekanan berkadar songsang terhadap halaju.

Persamaan ini boleh diaplikasikan pada situasi dengan membuat anggapan bahawa :

1. Bendalir tidak mampat di mana ketumpatannya adalah tetap, $\rho = \text{pemalar}$.
2. Aliran mantap, $\delta / \delta t = 0$.
3. Aliran tidak mengalami geseran, $\tau = 0$.
4. Aliran berlaku di sepanjang satu garis lurus.

Daripada anggapan yang dibuat, maka ia dapat diterangkan dalam bentuk persamaan seperti di bawah:

Turus tekanan + Turus kinetik + Turus aras = Jumlah Turus

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = h = \text{malar} \quad \dots\dots\dots(2.)$$

Di mana :

P = Tekanan bendalir dtatik pada luas keratan rentas (N/m^2)

ρ = Ketumpatan aliaran bendalir (kg/m^3)

g = Tarikan graviti biasanya dinyatakan sebagai 9.71 m/s^2 (m/s^2)

v = Purata halaju aliran bendalir pada luas keratan rentas (m/s)

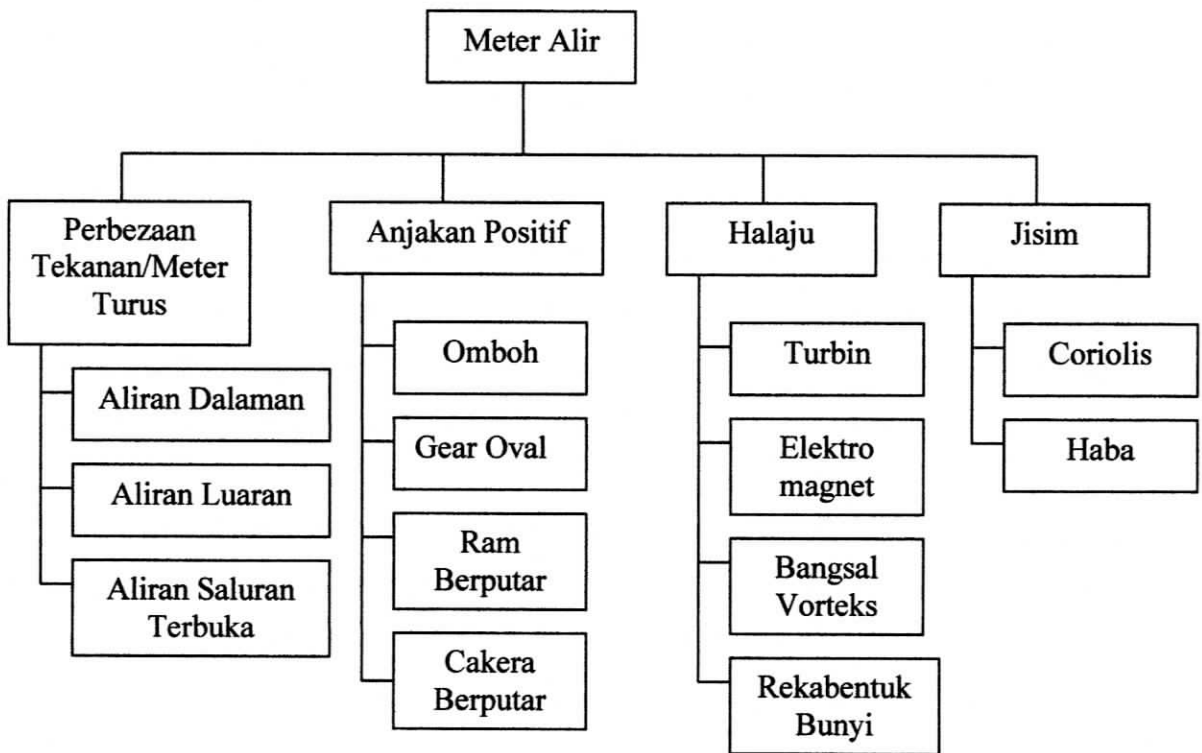
z = Ketinggian pusat aras pada luas luas keratan rentas, $z = 0$.

h = Jumlah turus (m)

2.2 Jenis- jenis Meter Alir.

Terdapat beberapa jenis meter alir sedia ada terutama untuk sistem perpaipan. Ia boleh dikategorikan kepada empat kelas utama iaitu meter perbezaan tekanan atau meter turus, meter anjakan positif, meter halaju dan meter jisim. Meter perbezaan tekanan termasuklah meter orifis, meter venturi, tiub pitot, tiub alir, muncung alir, meter tap siku, meter sasaran dan meter rota atau meter pembolehubah luas.

Meter anjakan positif termasuklah ombok, gear oval, nat cakera, ram berputar dan cakera berputar. Meter halaju meliputi alatan seperti turbin, bangsal vorteks, elektromagnetik dan rekabentuk bunyi. Meter jisim pula diklasifikasikan sebagai coriolis dan haba. Pengukuran bendalir dalam saluran terbuka biasanya melibatkan pintu air suis dan empang dasar.



Rajah 2.2 (a) : Jenis-jenis meter alir.(Jesse Yoder,2005)

Kajian akan memberi tumpuan terhadap meter alir jenis perbezaan tekanan iaitu meter orifis, meter venturi dan pitot tiub sebagai alat pengukuran aliran utama untuk mendapatkan parameter seperti kadar alir dan halaju. Ini berdasarkan kepada kajian yang telah dibuat dianggarkan sebanyak 50% menggunakan kaedah pengukuran aliran dari jenis perbezaan tekanan dalam pelbagai sektor dan industri (Plant Engineering Magazine, 1984). Di bawah kumpulan meter perbezaan tekanan terdapat juga meter lain seperti meter muncung, meter rota, tiub alir, meter kepala siku dan meter sasaran.

2.2.1 Meter Alir Perbezaan Tekanan atau Meter Turus.

Secara asasnya prinsip operasi meter alir perbezaan tekanan adalah berdasarkan kejatuhan nilai tekanan melalui meter di mana berkadar langsung kepada kadar alir di dalam aliran paip. Kadar alir boleh ditentukan dengan mengukur perbezaan tekanan dan diungkapkan dalam punca kuas dua. Dalam kebanyakan meter alir yang lain, meter alir jenis ini juga mempunyai elemen utama dan kedua.

Biasanya elemen utama (*primary*) disebabkan oleh perubahan tenaga kinetik yang terhasil disebabkan perbezaan tekanan di dalam paip. Selain itu, espek lain turut dipertimbangkan seperti kesesuaian saiz paip, keadaan aliran, sifat bendalir seperti kelikatannya dan ketepatan ukuran yang baik dalam julat yang boleh diterima.

Elemen kedua (*secondary*) adalah pengukuran dari perbezaan tekanan tersebut dengan menyediakan isyarat untuk menukarkan ianya kepada nilai aliran yang sebenar. Contohnya dalam meter orifis di mana meter alir ini bersama bahagian paip yang terhampir dan hubungan tekanan dikategorikan sebagai elemen utama sementara elemen kedua mengandungi alat perbezaan tekanan. Perbezaan tekanan yang terhasil dapat menentukan kadar alir dan boleh ditunjukkan secara grafik dan bergantung juga kepada masa. Kombinasi antara kedua-dua elemen tersebut dapat diperhatikan dalam kebanyakan alat meter alir.