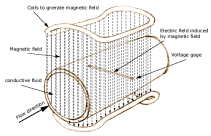
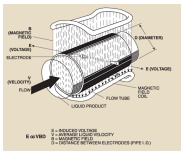
4. Magnetic Meters

Prinsip Operasi



Prinsip kerja flowmeter jenis ini didasarkan pada hukum induksi elektromagnetik *(Faraday's Low)*, yaitu bila suatu fluida konduktif elektrik melewati pipa tranducer, maka fluida akan bekerja sebagai konduktor yang bergerak memotong medan magnet yang dibangkitkan oleh kumparan magnetic dari transducer, sehingga timbul tengangan listrik induksi.



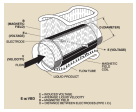
Hubungan ini dapat dinyatakan sebagai :

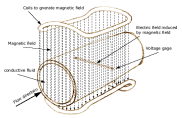
e = B . l . v

Dimana :
e = tegangan listrik induksi
B = rapat fluksi medan magnet
l = panjang konduktor (diameter dalam pipa)
V = kecepatan konduktor (laju aliran)

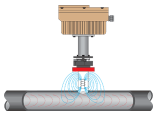
Magnetic Meters

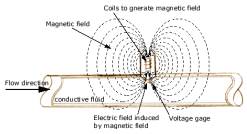
Inline model ; menempatkan electric coil di sekeliling pipa dan disediakan sepasang electroda berseberangan pada dinding pipa.





Insertion model ; menyisipkan electric coil ke dalam pipa yang akan diukur flow-nya dan disediakan sepasang electroda di ujung dari flowmeter.





Magnetic Meters

Spesifikasi Umum

Fluid Phase:

Score	Phase	Condition
✔	Liquid	Clean
✔		Corrosive
✔		Dirty
✔		Viscous
✔	Slurry	Abrasive
✔		Fibrous
✔	Liquid	Non-Newtonian
✔		Open Channel

✔: Recommended
✔: Limited applicability

Line Size: Inline models: 10 ~ 1200 mm (0.4 ~ 48 inch)
Insertion models: 75 mm (3 in) and up

Turndown Ratio: 100: 1

Magnetic Meters

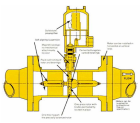
Kelebihan & Kekurangan

Kelebihan
- Pressure drop minimum, oleh karena penghalang yang minimum pada lintasan flow.
- Biaya maintenance rendah sebab tidak ada moving parts.
- Linearitas yang tinggi.
- Dapat digunakan untuk mengukur fluida yang korosif dan slurry.
- Pengukuran tidak dipengaruhi oleh viscosity, density, temperature dan pressure.
- Dapat mengukur aliran fluida jenis turbulent atau laminar.

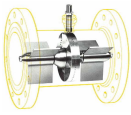
Kekurangan
- Dalam banyak kasus, persyaratan electrical conductivity dari fluida yang ditetapkan pabrik (0.1 – 20 micromhos).
- Zero drifting pada kondisi tidak ada flow atau low flow ➔ problem ini pada disain baru ditingkatkan dengan memotong (cut-off) low flow.

5. Turbine Meters

Prinsip Operasi



Teori dasar pada turbine meters adalah relatif sederhana, yaitu aliran fluida melalui meter berbenturan dengan turbine blade yang bebas berputar pada suatu poros sepanjang garis pusat dari turbin housing.



Kecepatan sudut (angular velocity) dari turbine rotor adalah berbanding lurus dengan laju aliran (fluid velocity) yang melalui turbine. Keluaran dari meter diukur oleh electrical pickup yang dipasang pada meter body. Frekwensi keluaran dari electric pickup adalah sebanding dengan laju aliran (flow rate).

Accuracy dan rangeability dari alat ukur turbine meter tersebut sangat baik. Rangeability bervariasi dari 100 : 1 s/d 200 : 1. Accuracy sekitar : ± ¼ s/d ±½ %.

Turbine Meters

Spesifikasi Umum

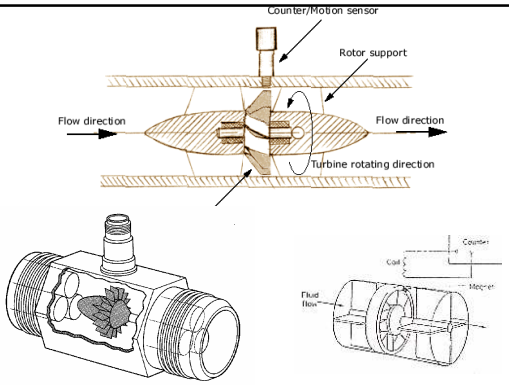
Fluid Phase:

Score	Phase	Condition
✓	Gas	Clean
✓	Liquid	Clean
!	Liquid	Corrosive
!		Open Channel

✓: Recommended
!: Limited applicability

Line Size: Inline models: 6 ~ 100 mm (0.25 ~ 4 inch)
Insertion models: 64 ~ 1500 mm (2.5 ~ 60 inch)

Turndown Ratio: 100 ~ 200 : 1



Turbine Meters

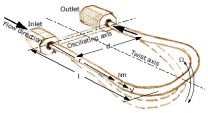
Kelebihan & Kekurangan

Kelebihan
- Biaya pengadaannya awal : sedang
- Akurasi baik, handal dan proven technology
- Repeatability yang sempurna
- Rangeability yang sempurna
- Pressure drop rendah

Kekurangan
- Hanya untuk aplikasi fluida yang bersih
- Pada nonlubrication fluids kadang-kadang menimbulkan masalah.
- Dibutuhkan pipa straight runs (15 x D) pada upstream turbine meter.
- Direkomendasikan menggunakan strainer.

6. Coriolis Flowmeters

Prinsip Operasi



Coriolis flowmeter (diambil dari nama ahli matematika France, Gustave-Gaspard Coriolis, 1835).

Prinsip Coriolis menyatakan bahwa jika sebuah partikel di dalam suatu gerak berputar mendekati atau menjauhi pusat perputaran, maka partikel menghasilkan gaya internal yang bekerja pada partikel itu. Gaya internal yang dihasilkan adalah sebanding dengan mass flowrate

Andaikan fluida sedang mengalir ke dalam U-Shaped tube pada kecepatan *V* dan tabung sedang bergetar pada kecepatan sudut W , maka dengan mempertimbangkan suatu bagian yang kecil dari fluida pada bagian inlet masuk dengan jarak r, maka suatu Gaya (dikenal sebagai coriolies force) dihasilkan ;

$$\delta \overrightarrow{F_c} = \delta m \cdot a_c = \delta m \cdot 2\overrightarrow{\Omega} \times \overrightarrow{V}$$

Coriolis Flowmeters

Spesifikasi Umum

Fluid Phase:

Score	Phase	Condition
✓	Liquid	Clean
✓		Direct Mass
✓		Dirty
✓		Non-Newtonian
✓		Viscous
✓	Slurry	Abrasive
!	Gas	Clean
!		Dirty
!	Liquid	Corrosive
!	Slurry	Fibrous

✓: Recommended
!: Limited applicability

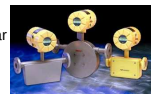
Line Size: 6 ~ 200 mm (0.25 ~ 8 inch)

Turndown Ratio: 100 : 1

Coriolis Flowmeters

Kelebihan dan Kekurangan

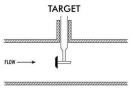
Kelebihan
- Akurasi : tinggi.
- Dapat digunakan secara luas pada berbagai kondisi aliran fluida.
- Mampu mengukur aliran fluida panas (molten sulphur, liquid toffee) dan aliran fluida dingin (cryogenic helium, liquid nitrogen).
- Pressure drop : rendah.
- Sesuai untuk bi-directional flow



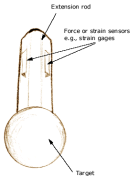
Kekurangan
- Biaya pengadaan awal : tinggi
- Kemungkinan penyumbatan (clogging) terjadi dan sukar dibersihkan
- Ukuran secara keseluruhan besar (dibanding dengan flowmeter lain)
- Ukuran Line size yang tersedia : terbatas.

Coriolis Flowmeters

Prinsip Operasi



Target flowmeters (*drag force flowmeters)* ➔ menyisipkan suatu target *(drag element ; flat disc* atau *sphere* dengan tangkai) ke dalam bidang aliran *(flow).* Flowmeter kemudian mengukur gaya tarik *(drag force)* pada target yang disisipkan kemudian menkonversinya kedalam kecepatan aliran *(flow velocity).*



Kunci utama dari target flowmeter ini adalah pengukuran dari drag force. Drag force (Fd) yang diberikan oleh persamaan incompressible flow, adalah :

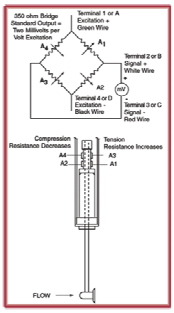
$$F_d = \frac{C_d \rho A V^2}{2}$$

Dimana :

V	= flow velocity
ρ	= density dari fluida
A	= Luas area dari target
C_d	= Drag coefficient

Coriolis Flowmeters

Prinsip Operasi

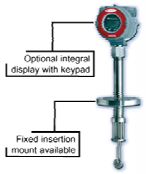


Drag coefficient ditentukan secara eksperimen, didasarkan pada kondisi flow dan bentuk geometry dari drag element. Untuk flat plate dan sphere, drag coefficientnya adalah :

$$C_d^{\text{Flat Plate}} = 1.28$$
$$C_d^{\text{Sphere}} = 0.07 - 0.5$$

Coriolis Flowmeters

Spesifikasi Umum



Fluid Phase:

Score	Phase	Condition
✔	Cryogenic	
✔	Gas	Clean
✔		Dirty
✔	Liquid	Clean
✔		Dirty
✔		Viscous
✔	Steam	Saturated
◆	Liquid	Corrosive

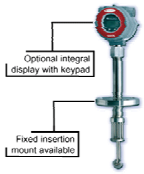
✔: Recommended
◆: Limited applicability

Line Size: Inline models: 15 ~ 150 mm (0.5 ~ 6 inch)
Insertion models: 100 ~ 1500 mm (4 ~ 60 inch)

Turndown Ratio: 15 : 1

Coriolis Flowmeters

Kelebihan dan Kekurangan

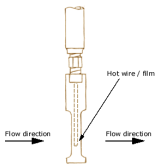


Kelebihan
- Biaya pengadaannya awal : rendah
  - Dapat digunakan pada aliran fluida yang abrasive, terkontaminasi atau korosif.

Kekurangan
- Pressure drop tidak dapat diabaikan sehubungan dengan drag element dan tangkai.

7. Thermal Flowmeters

Prinsip Operasi



Thermal mass flowmeter didasarkan pada pengukuran panas yang diserap dari sensor akibat dialiri fluida. Jumlah panas yang diserap menentukan laju aliran massa *(mass flow rate).*

Flowmeter ini mempunyai dua buah sensor (sensing element), yaitu :
1. Sensor flow terbuat dari *heated wire* atau *film (self heated)* ➔ Platinum/tungsten RTD (Resistance Temperature Detector).
2. RTD yang digunakan untuk mengukur temperature aliran gas (temperature reference).

Ketika aliran gas melewati hot wire (flow sensor) maka molekul gas menyerap atau membawa panas dari permukaan sensor tersebut, sehingga sensor menjadi dingin akibat kehilangan energi. Selanjutnya sensor mengaktifkan rangkaian elektronik untuk mengisi energi yang hilang dengan cara memanaskan flow sensor hingga perbedaan temperature yang tetap diatas reference sensor.

Daya listrik yang diperlukan untuk mempertahankan perbedaan temperatur yang tetap adalah berbanding lurus dengan mass flowrate dan selanjutnya dikeluarkan sebagai output signal yang linear dari flowmeter.

Thermal Flowmeters

Spesifikasi Umum

Fluid Phase:

Score	Phase	Condition
✔	Gas	Clean
◆	Gas	Dirty

✔: Recommended
◆: Limited applicability

Line Size: Inline models: 6 ~ 100 mm (0.25 ~ 4 inch)
Insertion models: 64 ~ 1500 mm (2.5 ~ 60 inch)

Turndown Ratio: 100 ~ 1000 : 1

Kelebihan
- Biaya pengadaannya awal : sedang
- Pressure drop : rendah

Kekurangan
- Biaya maintenance tinggi
- Hanya untuk gas bersih.

8. Ultrasonic Flowmeters

Prinsip Operasi

Pengukuran laju aliran *(flow rate)* dengan metoda ini melibatkan element :
- ***Transmitter*** : transducer berfungsi mengubah tegangan listrik frekuensi tinggi menjadi getaran kristal (akustik).
- ***Receiver*** *:* mengubah getaran kristal (akustik) menjadi sinyal listrik

Daerah frekuensi Tx dan Rx > 20 KHz (misalkan 10 MHz) ➔ ULTRASONIC

Secara umum metoda ultrasonic dibedakan atas :

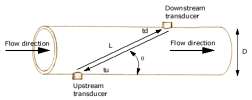
- **Model Transit time** : berdasarkan waktu lintas gelombang ultrasonic dari pengirim
  (transmitter) ke penerima (receiver).
- **Model Doppler** : berdarkan frekuensi pelayangan Doppler.

Ultrasonic Flowmeters

Transit Time Ultrasonic Flowmeter

Prinsip Operasi

Waktu yang digunakan gelombang akustik untuk melintas dari transducer (upstream) ke transducer (downstream) adalah *td* lebih pendek dibanding waktu yang digunakan untuk melintas dari downstream ke upstream *tu*.

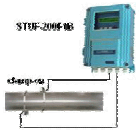


$$V = \frac{L^2}{8X}\left[\frac{(t_u + t_d)^2}{t_u t_d}(t_u - t_d)\right] \approx \frac{L^2 \Delta t}{2X t_u t_d}$$

Ultrasonic Flowmeters

Transit Time Ultrasonic Flowmeter

Spesifikasi Umum



Fluid Phase:

Score	Phase	Condition
✓	Gas	Clean
✓	Liquid	Clean
✓		Corrosive
✓		Dirty
✓	Gas	Dirty
✓	Liquid	Open Channel
✓		Viscous

✓: Recommended
✓: Limited applicability

Line Size: Inline model: 10 ~ 1200 mm (0.4 ~ 48 inch)
Clamped-on model: 75 mm (3 in) and up

Turndown Ratio: 100: 1

Ultrasonic Flowmeters

Transit Time Ultrasonic Flowmeter

Kelebihan & Kekurangan

Kelebihan
- Tidak ada penghalang di lintasan aliran, sehingga tidak ada pressure drop.
- Tidak ada part bergerak (moving parts), sehingga maintenance cost rendah.
- Model multi-path mempunyai ketelitian lebih tinggi
- Dapat digunakan untuk mengukur flow fluida yang korosif dan slurry.
  - Model portable tersedia untuk analisa dan diagnosa di lapangan.

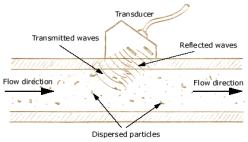
Kekurangan
- Biaya pengadaan awal : tinggi
- Model single path (one-beam) tidak sesuai untuk pengukuran kecepatan
  aliran (flow velocity) yang bervariasi di atas range Reynolds numbers.

Ultrasonic Flowmeters

Doppler Ultrasonic Flowmeters

Prinsip Operasi

Flowmeter ini didasarkan pada efek Doppler yang menghubungkan frekuensi pelayangan gelombang akustik dengan kecepatan aliran.



$$V = \frac{c\Delta f}{2f\cos\theta}$$

Ultrasonic Flowmeters

Doppler Ultrasonic Flowmeters

Spesifikasi Umum

Score	Phase	Condition
✓	Gas	Dirty
✓	Liquid	Corrosive
✓		Dirty
✓		Open Channel
✓	Gas	Clean
✓	Liquid	Clean
✓		Viscous

✓: Recommended
✓: Limited applicability

Line Size: Inline model: 10 ~ 1200 mm (0.4 ~ 48 inch)
Clamped-on model: 75 mm (3 in) and up

Turndown Ratio: 100 : 1

Ultrasonic Flowmeters

Doppler Ultrasonic Flowmeters

Kelebihan & Kekurangan

Kelebihan

- Tidak ada penghalang di lintasan aliran, sehingga tidak ada pressure drop.
- Tidak ada part bergerak (moving parts), sehingga maintenance cost rendah.
- Dapat digunakan untuk mengukur flow fluida yang korosif dan slurry.
    - Model portable tersedia untuk analisa dan diagnosa di lapangan.

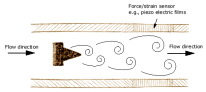
Kekurangan

- Biaya pengadaan awal : tinggi

9. Vortex Flowmeters

Prinsip Operasi

vortex shedding flowmeters (oscillatory flowmeters)



$$Q = \frac{f_v \pi D^3}{4S}\left(\frac{w}{D}\right)\left(1 - \frac{4}{\pi}K\frac{w}{D}\right)$$

Dimana :
Q = Volum flowrate
fv = frequency of vortex shedding
D = diameter of the pipe
S = strouhal number
K = *K* factor

Prinsip kerjanya didasarkan pada pengukuran getaran *(vibration)* pada downstream pusaran (vortex) yang disebabkan oleh penghalang yang ditempatkan pada aliran fluida. Frekwensi getaran dari vortex dapat dihubungkan dengan laju aliran fluida

K factor pada umumnya diperkenalkan untuk mengganti kerugian untuk profil yang tidak seragam dari pipa.

S strouhal number ditentukan secara eksperimen.

w/D	*S*
0.1	0.18
0.3	0.26
0.5	0.44

Vortex Flowmeters

Spesifikasi Umum

Fluid Phase:

Score	Phase	Condition
✓	Gas	Clean
✓		Dirty
✓	Liquid	Clean
✓	Steam	Saturated
✓		Superheated
⚠	Liquid	Corrosive
⚠		Dirty

✓: Recommended
⚠: Limited applicability

Line Size: Inline model: 10 ~ 1200 mm (0.4 ~ 48 inch)
Insertion model: 75 mm (3 in) and up

Turndown Ratio: 10: 1

Kelebihan

- Biaya pengadaan awal : rendah ~ sedang.
- Tidak dibutuhkan maintenance bila digunakan pada aliran fluida yang bersih.

Kekurangan

- Pressure drop : rendah ~ sedang