



KEMENTERIAN PERDAGANGAN
REPUBLIK INDONESIA

KALIBRASI PRESSURE GAUGE

06 Desember 2011

Lembaga Pelatihan PPMB

Jl. Raya Bogor KM. 26 Ciracas

Jakarta Timur 13740

Pengetahuan Alat Ukur Tekanan dan Kalibrasi : PRESSURE GAUGE

Amalia Rakhmawati, ST, MT

Laboratorium Volgat Balai Kalibrasi

Pusat Pengawasan Mutu Barang

Sekretariat Jenderal Kementerian Perdagangan

email: amelchan_tique@yahoo.com

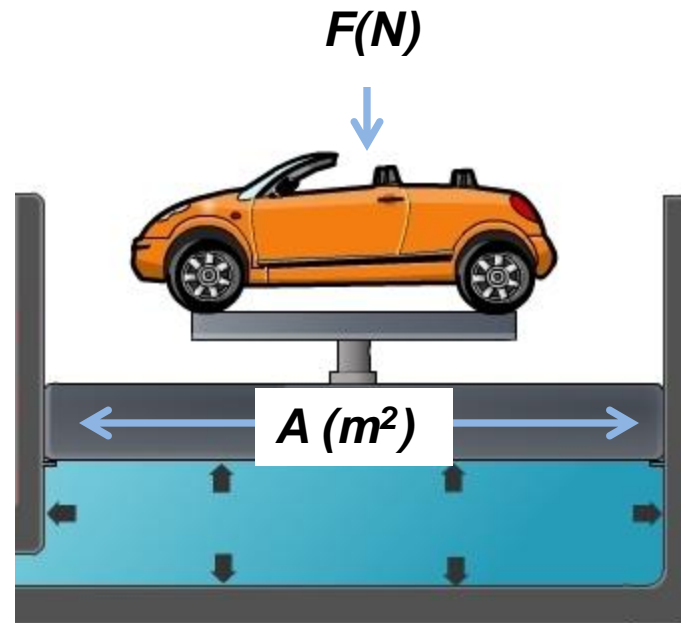
Definisi Tekanan

Gaya yang diberikan pada suatu luasan tertentu.

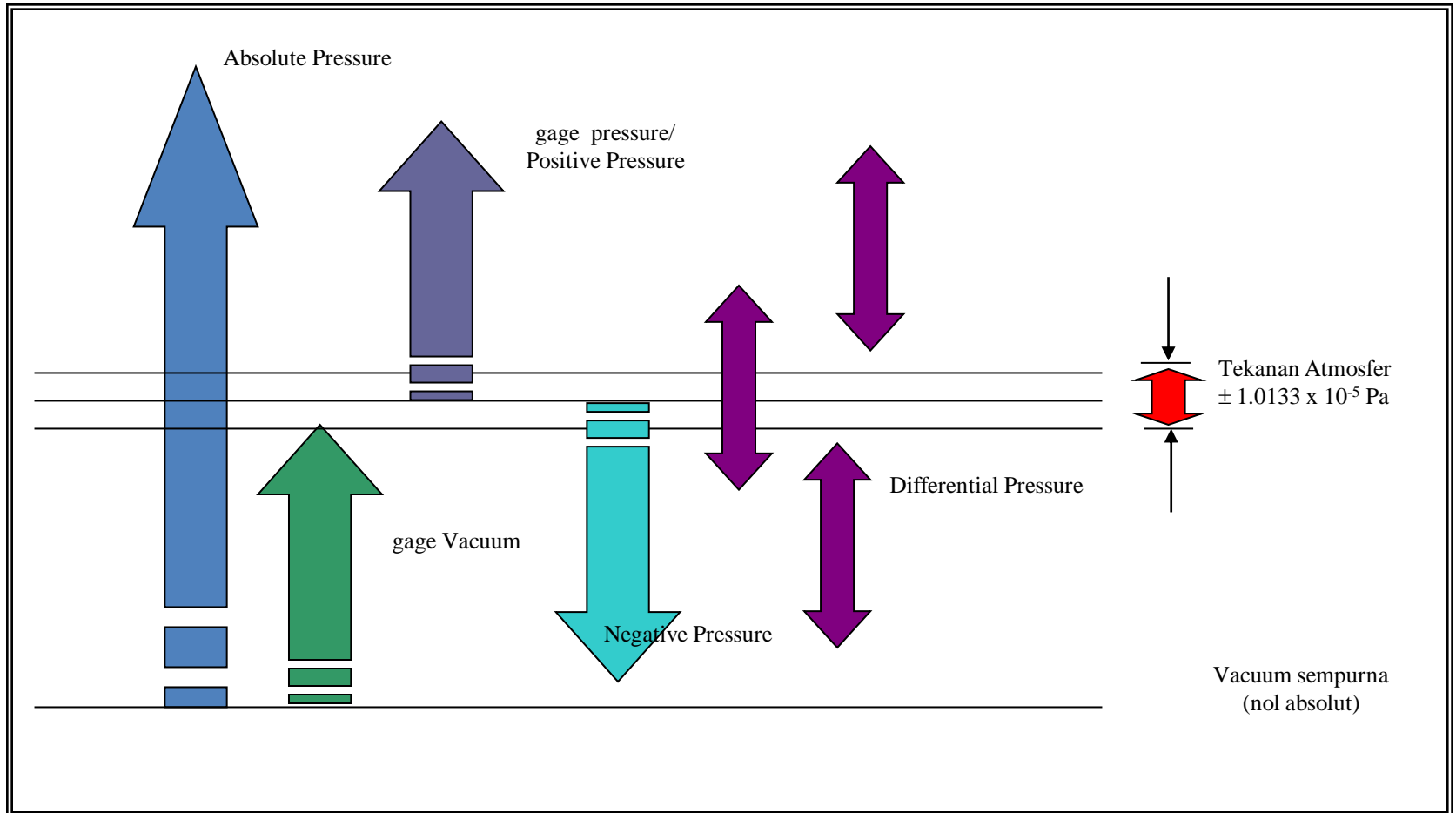
Model matematis hubungan Tekanan (p), Gaya (F) dan Luasan (A) :

$$p = \frac{F}{A}$$

P (Pa)



Klasifikasi Tekanan



Klasifikasi Tekanan-2

Tekanan Absolut

Tekanan yang diukur dengan sebuah Instrumen yang mempunyai titik referensi NOL di daerah vacuum sempurna.

Tekanan Gauge (Tekanan relatif / Tekanan terukur)

Tekanan yang diukur menggunakan sebuah instrumen yang mempunyai titik referensi NOL pada daerah Tekanan Atmosfer.

“Tekanan nol gauge sama dengan tekanan atmosfer”

Hubungan tekanan absolut dan tekanan gauge adalah

“Tekanan Absolute = Tekanan Gauge + Tekanan Atmosfer”

Tekanan Negatif

Tekanan dibawah tekanan atmosfer yang diukur menggunakan sebuah instrumen yang mempunyai titik referensi NOL pada daerah Tekanan Atmosfer.

Tekanan Differential

Tekanan yang mempunyai titik referensi NOL tidak berada pada daerah absolut ataupun gauge.

Perbedaan Tekanan yang terbaca dari suatu instrumen ukur dari dua sumber tekanan.

Jadi titik referensi NOL menunjukkan bahwa dua sumber tekanan tersebut besarnya sama

Klasifikasi Tekanan-3

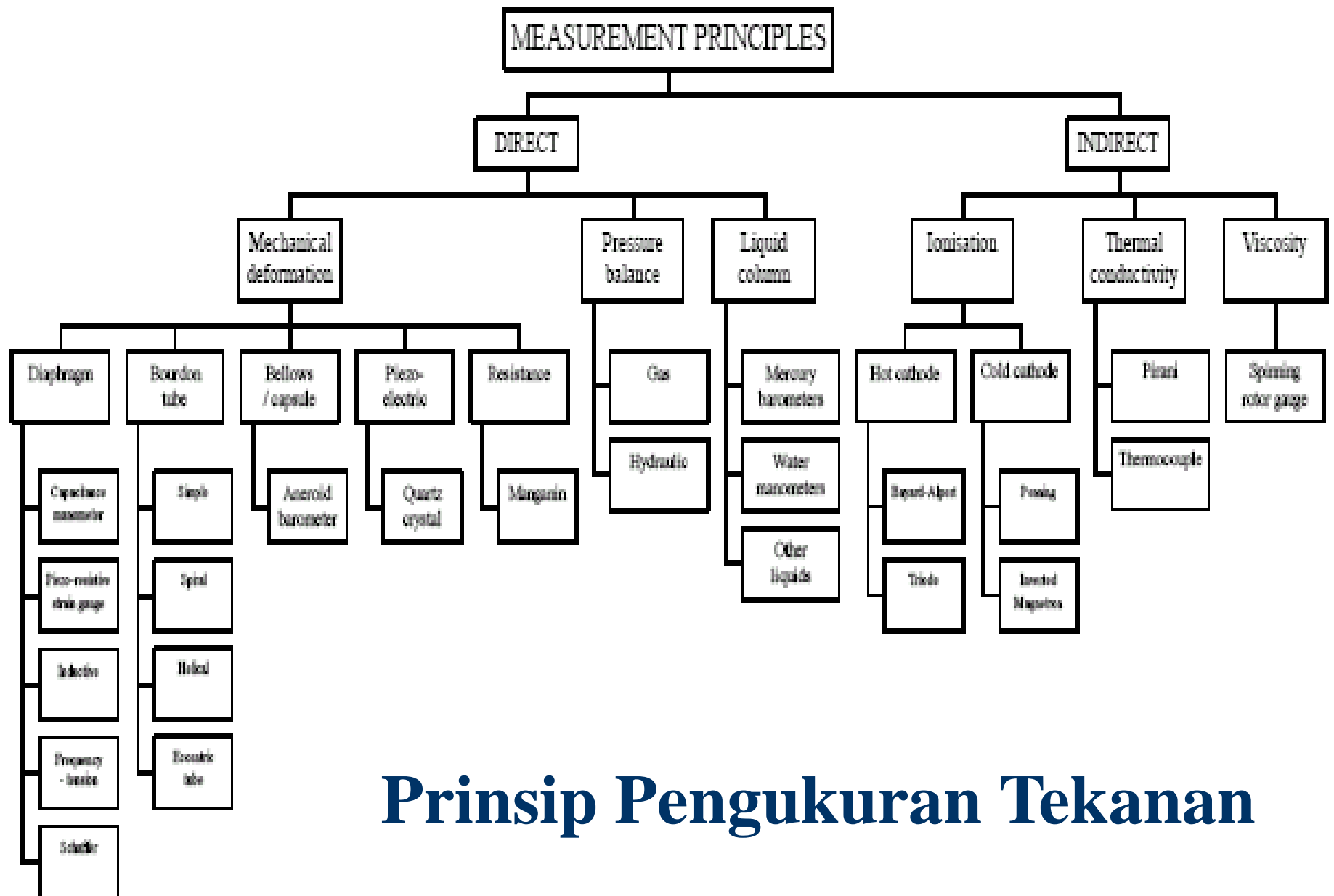
Tekanan Barometer

Tekanan yang terukur oleh sebuah Barometer, dimana nilai tekanannya adalah nilai Tekanan Atmosfer.

Tekanan Vacuum

Tekanan dibawah tekanan atmosfer yang diukur menggunakan sebuah instrumen yang mempunyai titik referensi NOL pada daerah vacuum.





Prinsip Pengukuran Tekanan

Figure 5-1 One possible classification of pressure measurement techniques (illustrative only)

Prinsip Pengukuran Tekanan



Prinsip Pengukuran Tekanan-2

Beberapa prinsip dasar untuk realisasi pengukuran tekanan, antara lain:

- **Fundamental**

- Liquid Column
- DWT

- **Mechanical Deformation**

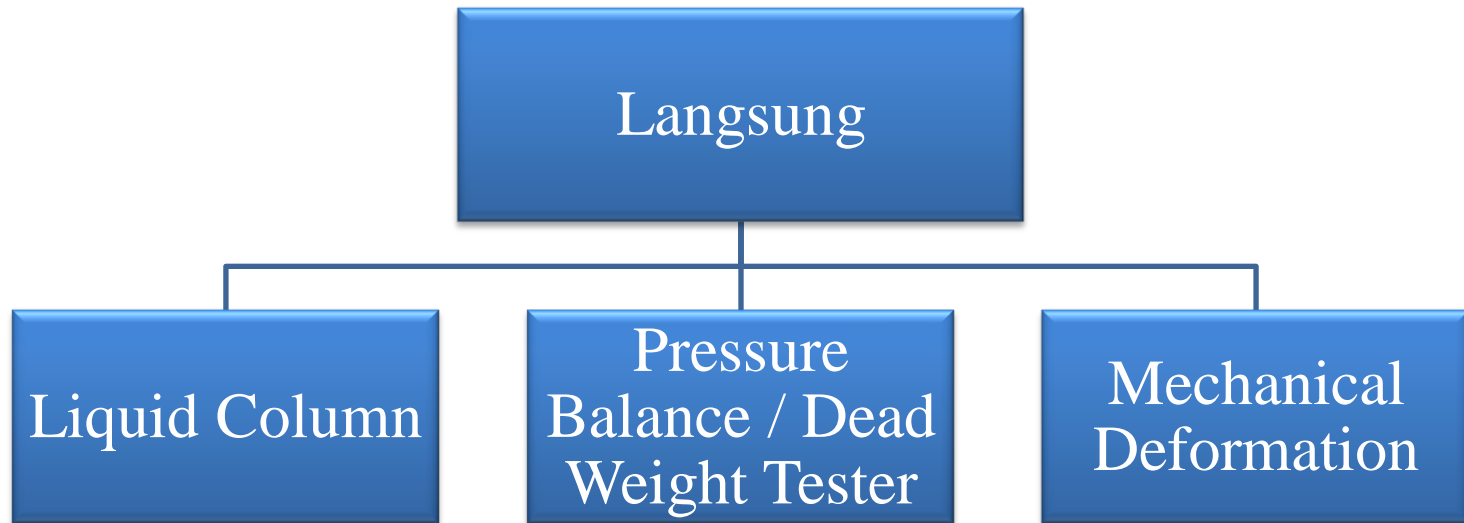
- Bourdon
- Diafragma

- **Jumlah Molekul pada Volume tertentu (Densitas)**

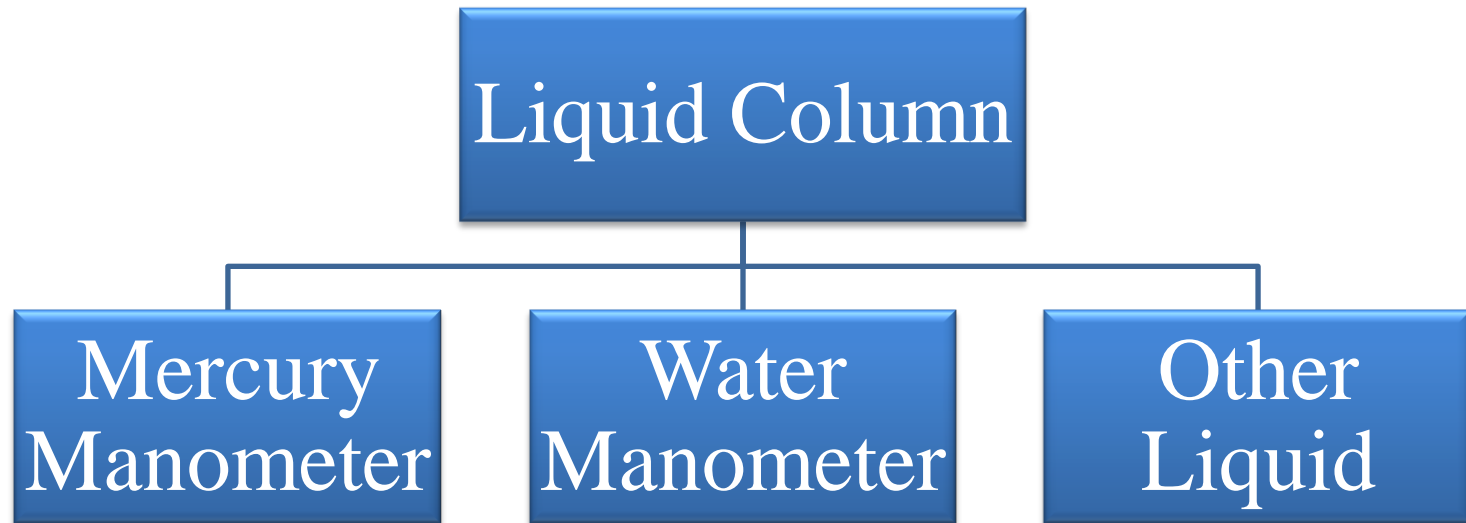
- Vacuum gauge (Tidak langsung)



Prinsip Pengukuran Tekanan-3



Prinsip Fundamental



Prinsip Fundamental-2

Liquid Column

Metode elemen basah yang merupakan metode pertama pengukuran tekanan dan termasuk salah satu paling akurat sampai saat ini. Prinsip kerja liquid column berdasarkan kemampuan medium bertekanan untuk memberikan gaya naik pada liquid di dalam tube.

Persamaan dasarnya adalah:

$$p_1 = p_2 + \rho gh$$

Metode elemen basah :

Well type manometer

Inclined Tube manometer

McLeod manometer

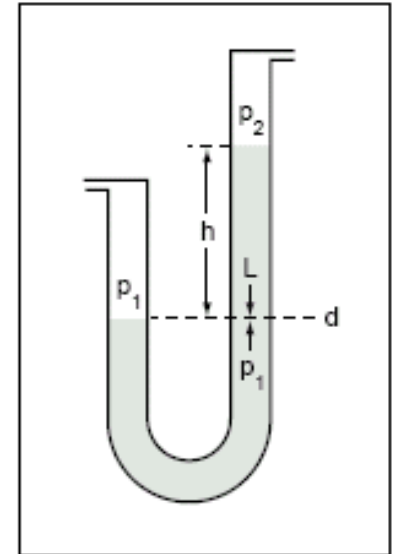
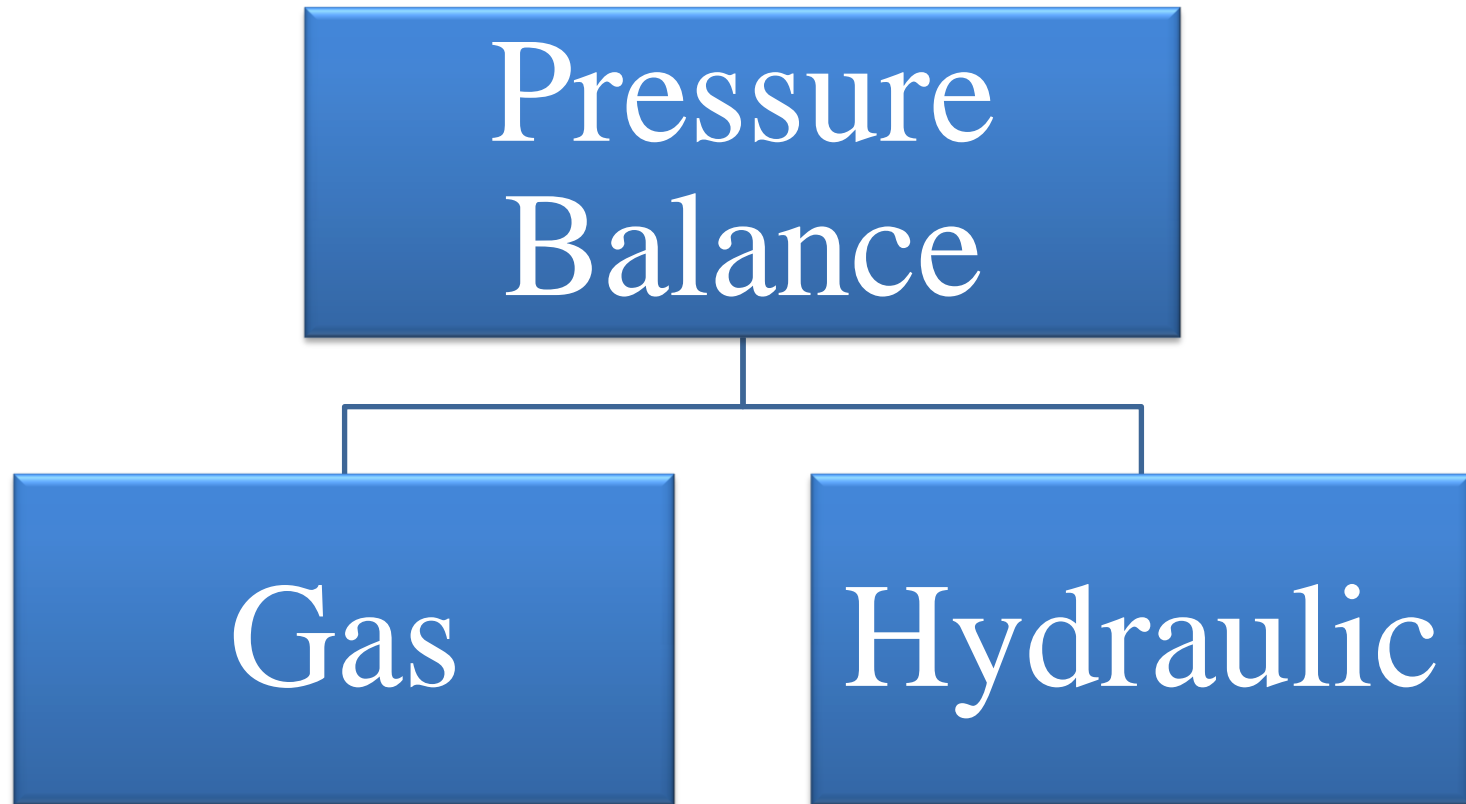


Figure 5-3 U-tube manometer

Prinsip Fundamental-3



Prinsip Fundamental-3

Pressure Balance / Dead Weight Tester

Alat ukur tekanan yang paling sering digunakan, mempunyai rentang yang sangat luas antara 3 kPa (gas media, absolute atau gauge pressure) sampai 1 GPa (hydraulic media, gauge pressure). Prinsip kerja berdasarkan kesetimbangan ke atas dan ke bawah (pressure balance)

Merealisasikan definisi dari tekanan, dengan persamaan matematik :

$$p = \frac{m \cdot g}{A}$$

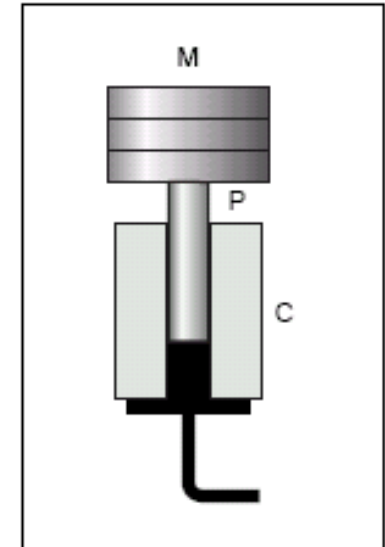
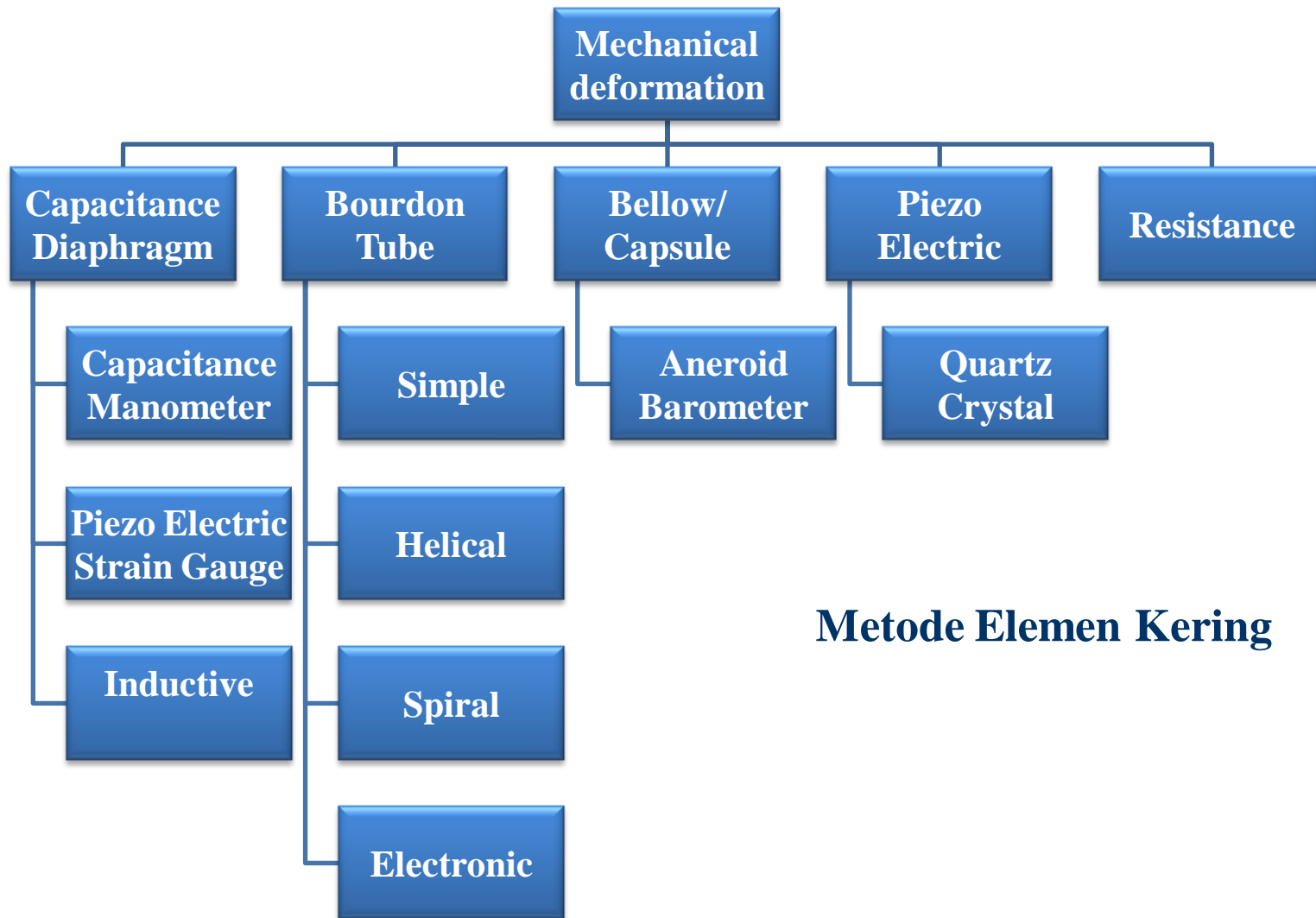


Figure 5-16 Pressure balance. Key: C, cylinder; M, masses; P, piston



Prinsip Pengukuran Tekanan-4



Metode Elemen Kering



Mechanical Deformation

Mechanical Deformation Element

Tekanan diberikan pada sebuah elemen yang bisa terdeformasi.

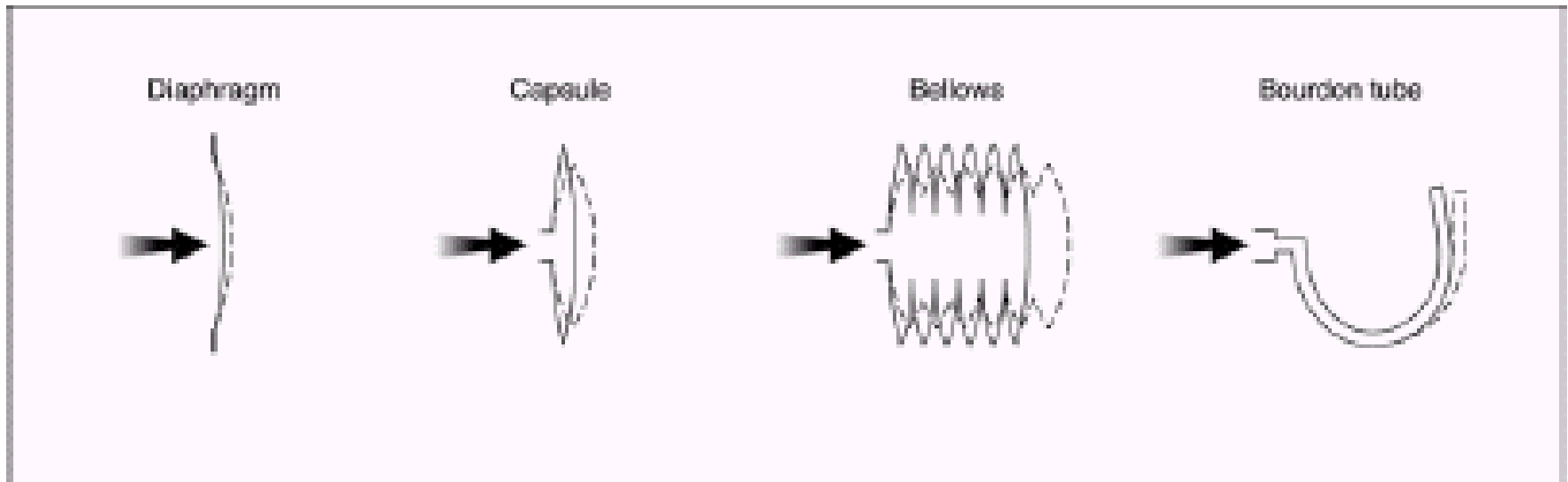


Figure 5-6 Common mechanical deformation elements



Mechanical Deformation-2

Mechanical Deformation Sensing

Perubahan tersebut harus sekecil mungkin agar masih berada pada limit elastisitas elemen, akan tetapi masih cukup besar untuk dapat terdeteksi dengan resolusi yang cukup.

Beberapa sensor deformasi:

- Mechanical display
- Capacitive Technique
- Strain Gauge
- dll



Mechanical Deformation-3

Mechanical Display

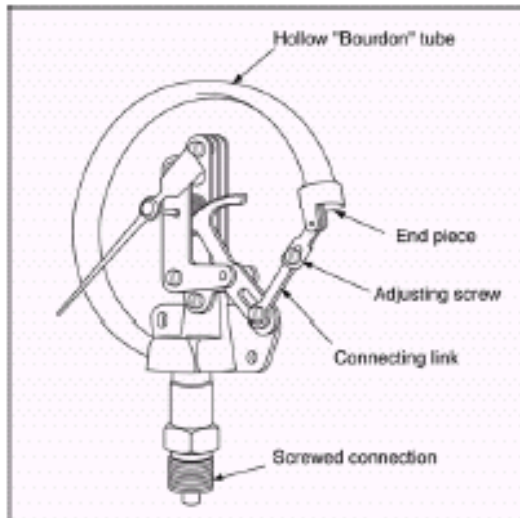


Figure 5-7 Bourdon tube dial gauge

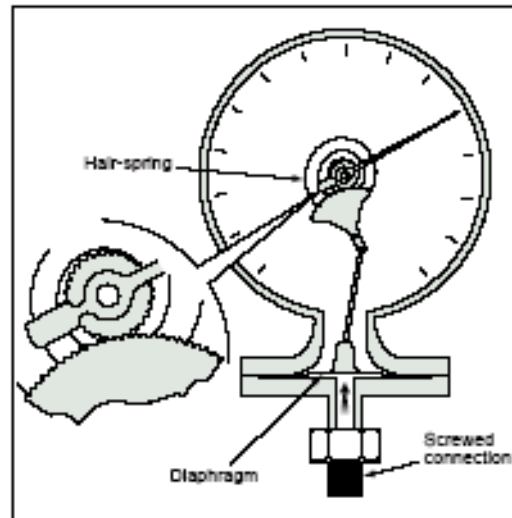


Figure 5-8 Diaphragm dial gauge

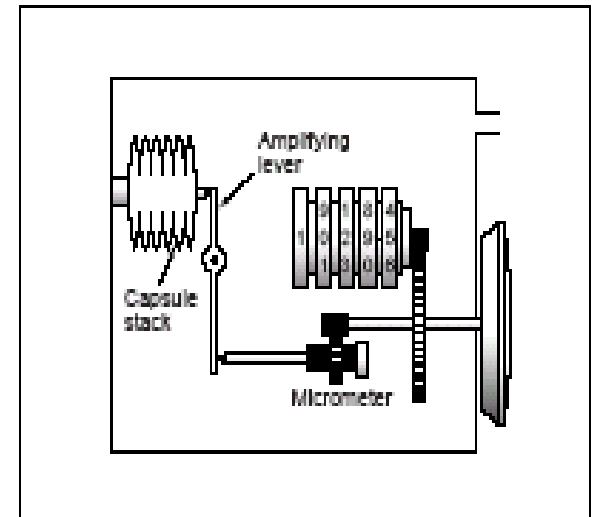


Figure 5-9 Precision aneroid barometer



Mechanical Deformation-4

Capacitive Technique

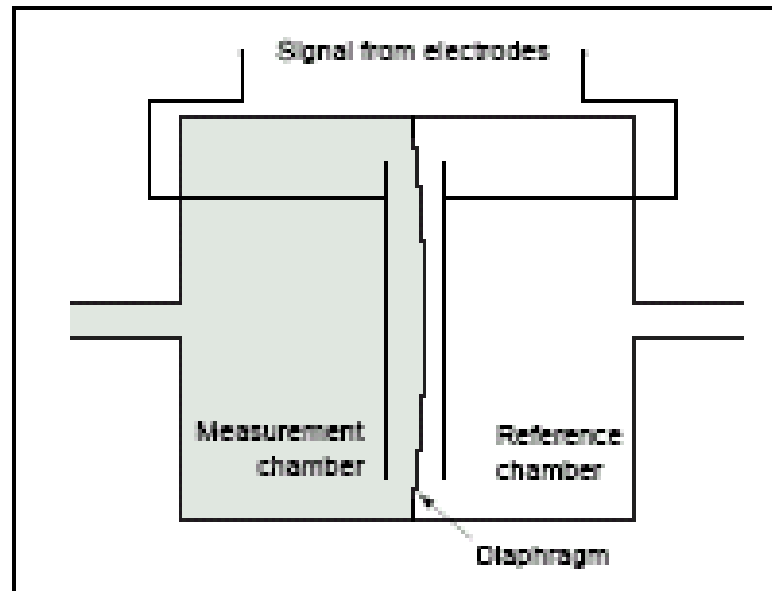


Figure 5-10 Capacitance diaphragm gauge (capacitance manometer)



Mechanical Deformation-5

Strain Gauge

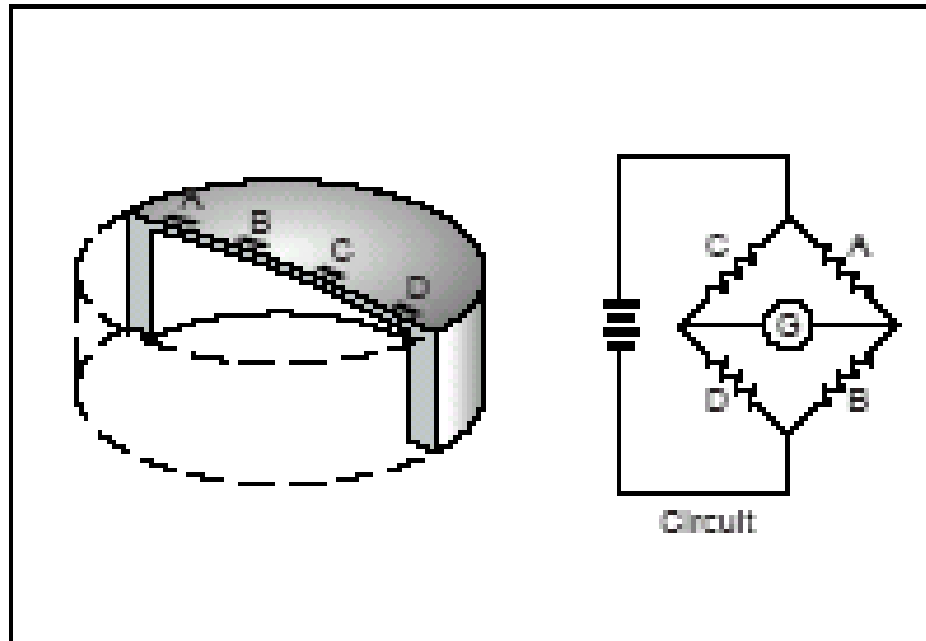
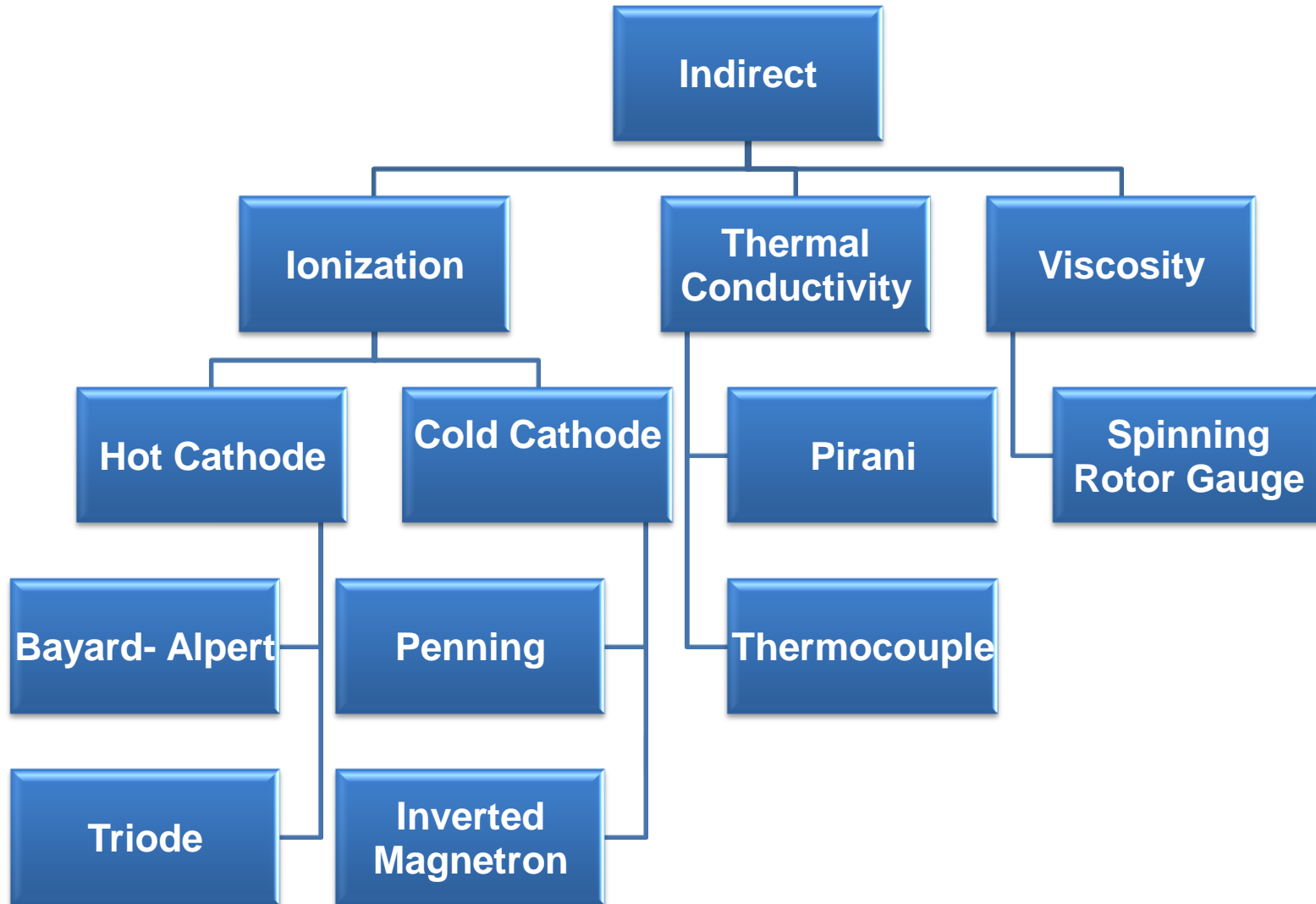


Figure 5-12 Strain gauge sensing



Prinsip Pengukuran Tekanan-5



Pengukuran Tidak Langsung

Pada tekanan yang rendah (vacuum), gaya yang terlibat biasanya sangat kecil untuk menghasilkan deformasi mekanik.

Maka metode tidak langsung digunakan untuk mengukur tekanan. Metode ini bergantung pada jumlah molekul yang ada (Densitas Molekul).

Metode ini antara lain:

- Konduktivitas Termal
- Ionisasi
- Viskositas



Pengukuran Tidak Langsung-2

Konduktivitas Termal

Transfer Energi melalui gas dari sebuah Kawat yang dipanaskan, dapat digunakan mengukur tekanan.

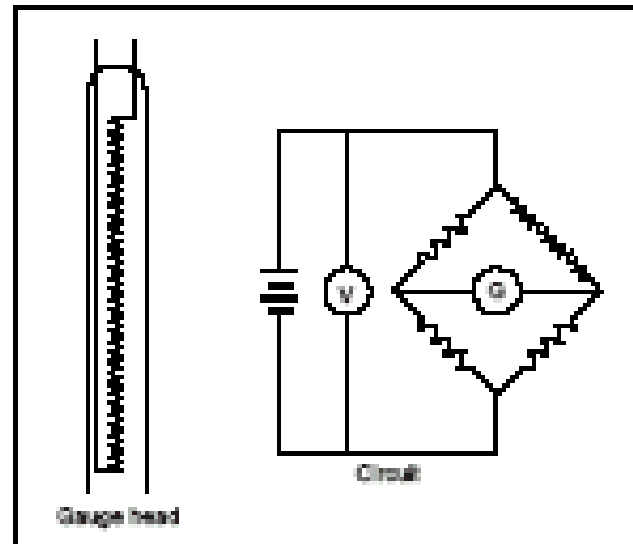


Figure 5-17 Filami gauge



Pengukuran Tidak Langsung-3

Ionisasi

Mengukur jumlah Densitas molekul yang berbanding lurus dengan tekanan. Hal ini dilakukan dengan cara “mengionisasikan molekul dan menangkap ionnya”.

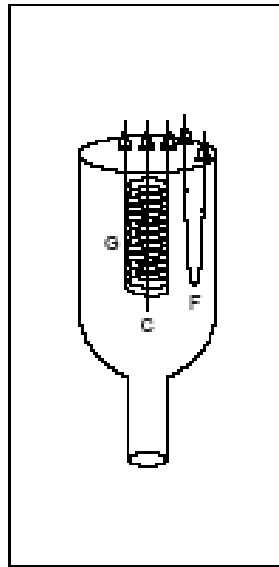


Figure 5-20 Bayard-Alpert gauge
Key: C, collector;
F, filament; G, grid

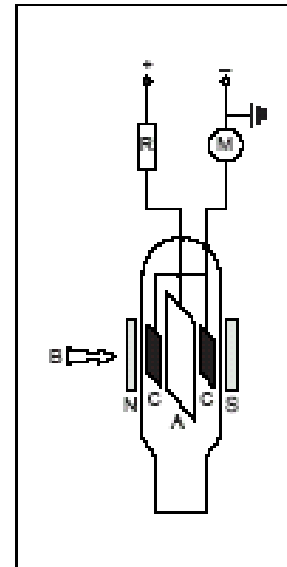


Figure 5-21 Penning gauge
Key: A, anode; C, cathode;
B, magnetic field; M, meter;
N, S, magnets; R, resistor



Kalibrasi Pressure Gauge

Mengaplikasikan mechanical deformation dari sifat elastis material sensor seperti Tabung Bourdon, Diafragma, Pressure Transducer.

Mechanical Deformation dari sensor tekanan dibaca dengan 2 sistem.

1. Sistem Mekanik (Analog Pressure Gauge)
2. Sistem Elektrik (Digital Pressure Gauge)

Ketelitian dan keakurasian ditentukan oleh kualitas material sensor, kemampuan indikator untuk mendeteksi setiap perubahan pada sensor saat terjadi perubahan tekanan.

Pada sistem mekanik keakurasian yang baik tergantung dari kualitas :
Roda gigi, per rambut, pointer



Kalibrasi Pressure Gauge-2

Metode Kalibrasi Pressure Gauge

OIML R023 : Tyre pressure gauge for motor vehicle

OIML R053 : Metrological characteristics of elastic sensing elements used for measurement of pressure

OIML R109 : Pressure gauges and vacuum gauges with elastics sensing elements (standard instruments)

OIML R097 : Barometers

OIML R101 : Indicating and recording pressure gauges, vacuum gauges, pressure-vacuum gauges with elastic sensing elements (ordinary instruments)

BS EN 837-1 : Pressure gauges. Bourdon tube pressure gauges. Dimensions, metrology, requirements and testing

BS EN 837-2 : Pressure gauges. Selection and installation recommendations for pressure gauges

BS EN 837-3 : Pressure gauges. Diaphragm and capsule pressure gauges. Dimensions, metrology, requirements and testing.

Guideline DKD-R 6-1 : Calibration of Pressure Gauges.

EA-10/17 : EA Guidelines on the Calibration of Electromechanical Manometers.



Kalibrasi Pressure Gauge-3

Kelas Akurasi Pressure Gauge berdasarkan BS EN 837

Dimensi dalam mm				
Nominal Size	d1	d2	d3	d4
40	38	61	51	3.6
50	48	71	60	3.6
63	61	86	75	3.6
80	78	110	95	5
100	97	134	118	6
150	147	186	168	6
180	157	196	178	6
250	245	290	276	7

Nominal Size NS	Accuracy class						
	0.1	0.25	0.6	1	1.6	2.5	4
40 and 50					x	x	x
63				x	x	x	x
80				x	x	x	x
100				x	x	x	
160		x	x	x	x		
250	x	x	x	x	x		



Kalibrasi Pressure Gauge-4

Maximum Permissible Error pada kelas akurasi Pressure Gauge berdasarkan BS EN 837

The total errors of indication at reference temperature 20 °C of the gauge shall not exceed the values given in the following table.

Accuracy class	Limits of permissible error (percentage of span)
0.1	± 0.1 %
0.25	± 0.25 %
0.6	± 0.6 %
1	± 1 %
1.6	± 1.6 %
2.5	± 2.5 %
4	± 4 %

Jumlah titik ukur yang dikalibrasi :

Class 0.6 minimum 10 titik
Class 1, 1.6, 2.5 minimum 5 titik
Class 4 minimum 4 titik

Pengukuran dilakukan pada tekanan naik dan tekanan turun.

Alat standar harus memiliki mpe 4 kali lebih baik daripada UUT
Kalibrasi dilakukan pada Temperature 20 ± 2 °C untuk class 0.1, 0.25, 0.6
Temperature 20 ± 5 °C untuk class > 0.6



Kalibrasi Pressure Gauge-5

Instruksi Kerja Kalibrasi Pressure Gauge

Baca penunjukkan alat pada tekanan naik dan turun
Lakukan 3 kali pengulangan

Pembacaan alat (*)		Pembacaan pressure gauge standar Pada posisi naik (*)			Rata-rata (*)	sd (*)	Ketidakpastian	
No.	Titikukur**)	1	2	3			*)	
1							Repeat	
2							Res. Std	
3							Drift Std	
4							Drift Std	
5							Zero Err	
6							U_s	
7							Hysteresis	
8							U_c	
9							v_{ef}	
10							k	
							U_{95}	

Pembacaan alat (*)		Pembacaan pressure gauge standar Pada posisi turun (*)			Rata-rata (*)	sd (*)	Ketidakpastian	
No.	Titikukur**)	1	2	3			*)	
1							Repeat	
2							Res. Std	
3							Drift Std	
4							Drift Std	
5							Zero Err	
6							U_s	
7							Hysteresis	
8							U_c	
9							v_{ef}	
10							k	
							U_{95}	



Kalibrasi Pressure Gauge-6

Scale spacing and scale numbering

Example 1: accuracy classes from 1 to 4

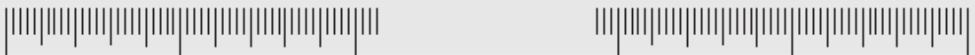
Nomi- nal Size (NS)	Scale (pressure range)	Scale spacing and scale numbering	Scale interval	Number of minor divisions
40 50 63	0 ... 1		0.05	20
	0 ... 10		0.5	
	0 ... 100		5	
	0 ... 1000		50	
	-1 ... 0		0.05	
	-1 ... 0 ... +9		0.5	
80 100 160 250	0 ... 2.5		0.05	50
	0 ... 25		0.5	
	0 ... 250		5	
	0 ... 2500		50	
	-1 ... 0 ... +1.5		0.05	
	-1 ... 0 ... +24		0.5	
80 100 160 250	0 ... 0.6		0.01	60
	0 ... 6		0.1	
	0 ... 60		1	
	0 ... 600		10	
	-0.6 ... 0		0.01	
	-1 ... 0 ... +5		0.1	




Kalibrasi Pressure Gauge-7

Scale spacing and scale numbering

Example 2: accuracy class 0.6

160 250									200
	0 ... 4	0	0.5	1	3	3.5	4	0.02	
	0 ... 40	0	5	10	30	35	40	0.2	
	0 ... 400	0	50	100	300	350	400	2	
	0 ... 4000	0	500	1000	3000	3500	4000	20	
	-1 ... 0 ... +3	-1	-0.5	0	2	2.5	3	0.02	

Example 3: accuracy class 0.25

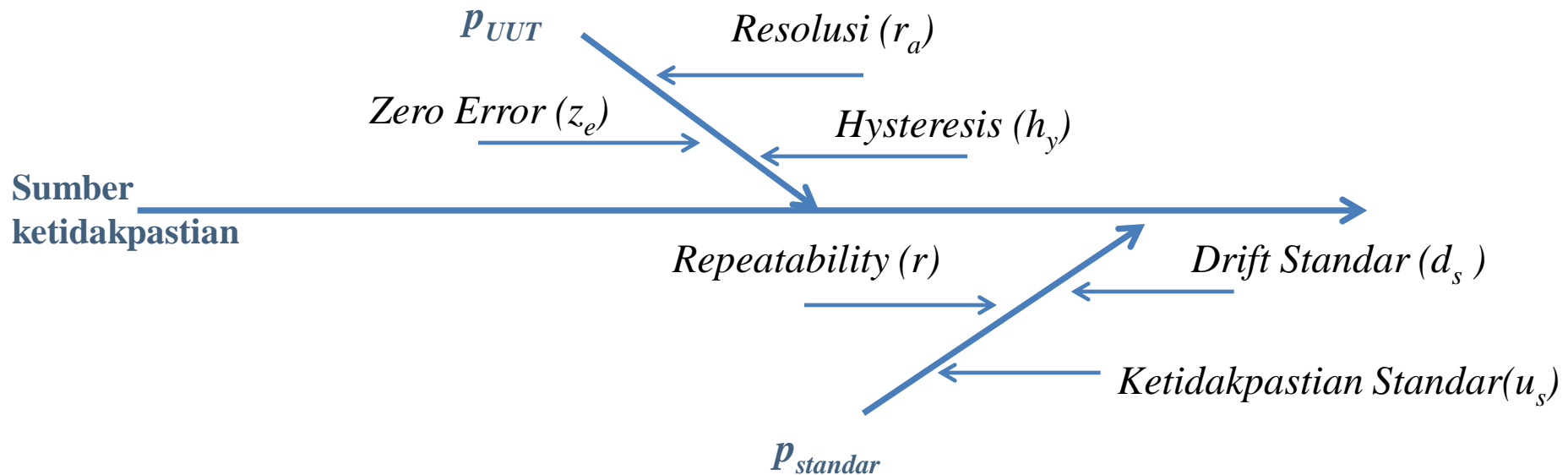
250									320	
	0 ... 1.6	0	0.1	0.2	1.3	1.4	1.5	1.6		0.005
	0 ... 16	0	1	2	13	14	15	16		0.05
	0 ... 160	0	10	20	130	140	150	160		0.5
	0 ... 1600	0	100	200	1300	1400	1500	1600		5
	-1 ... 0 ... +0.6	-1	-0.9	-0.8	0.3	0.4	0.5	0.6	0.005	
	-1 ... 0 ... +15	-1	0	1	12	13	14	15	0.05	



Ketidakpastian

Identifikasi Sumber Ketidakpastian

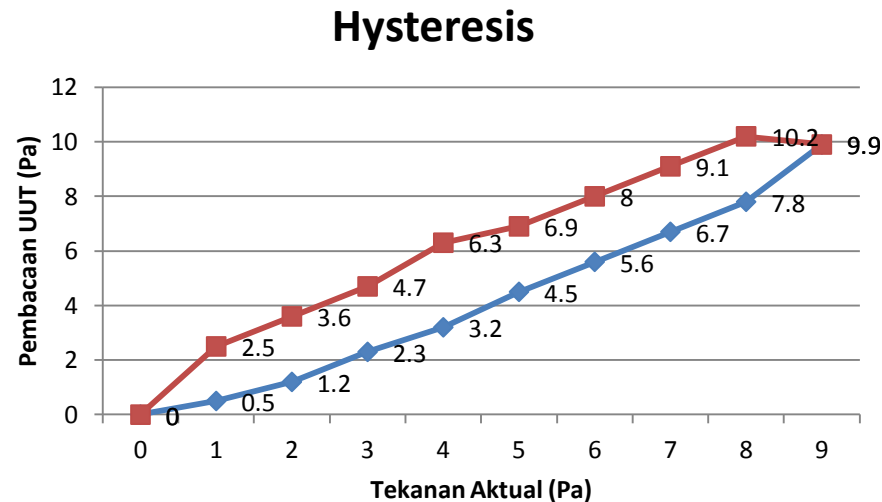
Cause and Effect Diagram (Man, Method, Machine, Material, Money, Environment)



Ketidakpastian-2

Sumber ketidakpastian

1. Repeatability, r , distribusi normal, divisor = \sqrt{n} , n = ulangan pengukuran, derajat bebas $\nu_1 = 2$;
2. Resolusi alat, r_a , distribusi segi empat, divisor = $\sqrt{3}$, derajat bebas berdasarkan reliabilitas 95% $\nu_2 = 50$;
3. Drift standar, d_s , diestimasi dari $\frac{1}{2} \times$ [perbedaan terbesar hasil kalibrasi (koreksi atau kesalahan) pada titik ukur yang sama dari sertifikat kalibrasi pada waktu kalibrasi yang berbeda], distribusi segi empat, divisor = $\sqrt{3}$, derajat bebas berdasarkan reliabilitas 95% $\nu_3 = 50$;
4. Ketidakpastian alat standar, u_s , distribusi t-Student berdasarkan reliabilitas 95 %, divisor = 2, derajat bebas $\nu_4 = 60$.
5. Zero Error, z_e , distribusi segi empat, divisor = $\sqrt{3}$, derajat bebas diberikan berdasarkan reliabilitas 95% $\nu_5 = 50$;
 $z_e = \max \{ |x_{2,1} - x_{1,1}|, |x_{4,1} - x_{3,1}|, |x_{6,1} - x_{5,1}| \}$
6. Hysteresis, h_y , distribusi segi empat, divisor = $\sqrt{3}$, derajat bebas diberikan berdasarkan reliabilitas 95% $\nu_6 = 50$;
Diestimasi berdasarkan nilai maksimal selisih dari penunjukkan tekanan naik dan turun dibagi 2, divisor = $\sqrt{3}$, derajat bebas diberikan berdasarkan reliabilitas 95% $\nu_6 = 50$
 $h_y = \frac{\max \{ |x_{2,j} - x_{1,i}|, |x_{4,j} - x_{3,i}|, |x_{6,j} - x_{5,i}| \}}{2}$



Ketidakpastian-3

Ketidakpastian baku, u_i

$$u_1 = r/\sqrt{n}, u_2 = r_a/\sqrt{3}, u_3 = d_s/\sqrt{3}, u_4 = u_s/2, u_5 = z_e/\sqrt{3}, u_6 = h_y/\sqrt{3}$$

Ketidakpastian gabungan, U_c

$$U_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2}$$

Derajat bebas efektif, V_{eff}

$$V_{\text{eff}} = \frac{U_c^4}{\frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_2^4}{v_2} + \frac{u_3^4}{v_3} + \frac{u_4^4}{v_4} + \frac{u_5^4}{v_5} + \frac{u_6^4}{v_6}}$$

Faktor cakupan, k

k dicari dari tabel t-Student terlampir pada tingkat kepercayaan 95% dengan derajat bebas = V_{eff}

Ketidakpastian bentangan

$$U_{95} = \pm k \times U_c$$

