

Bab I

INTRODUKSI

1.1. SASARAN

Mekanika fluida merupakan cabang ilmu teknik mesin yang mempelajari keseimbangan dan gerakan gas maupun zat cair serta gaya tarik dengan benda-benda disekitarnya atau yang dilalui saat mengalir. Istilah lain adalah HYDROMECHANIC ; sedangkan HIDROLIKA merupakan penerapan dari ilmu tersebut yang menyangkut kasus-kasus teknik dengan batas-tertentu, dan semua cara penyelesaiannya.

Jadi, hidrolika membahas hukum keseimbangan dan gerakan fluida serta aplikasinya untuk hal-hal yang praktis.

Sasaran pokok dari hidrolika adalah aliran fluida yang dikelilingi oleh selubung; seperti misalnya aliran didalam saluran-terbuka & tertutup. Sebagai contoh : aliran pada sungai, terusan, cerobong dan juga pipa saluran; nozzle dan komponen-komponen mesin hidrolik.

Jadi sasaran utama hidrolika adalah aliran-dalam dari fluida dengan istilah INTERNAL PROBLEMS yang berbeda dengan EXTERNAL PROBLEMS yang membahas aliran media disekeliling benda yang dicelupkan didalamnya ; seperti misalnya benda padat yang bergerak dalam air atau udara. Khusus tentang aliran luar, teorinya banyak dibahas dalam HYDRODYNAMICS dan AERODYNAMICS yang menyangkut perencanaan kapal terbang dan kapal laut.

Perlu diingat, istilah FLUIDA didalam MEKANIKA FLUIDA mempunyai pengertian yang lebih luas dibanding yang kita lihat dalam kehidupan sehari-hari. Fluida adalah semua bahan yang cenderung berubah bentuknya walaupun mengalami gaya-luar yang sangat kecil.

Ada perbedaan antara zat-cair dan gas.

Zat cair cenderung untuk mengumpul dan membentuk tetesan (apabila jumlahnya sedikit) ; untuk volume yang banyak ia akan membentuk muka-bekas (FREE SURFACE). Sifat penting lainnya dari zat-cair, perubahan tekanan dan temperatur hampir atau sama sekali tak berpengaruh terhadap volume; sehingga dalam praktek zat cair dianggap bersifat INCOMPRESSIBLE. Sedangkan gas akan mengkerut bila mengalami tekanan dan memuai tak-terhingga besarnya bila tekanan hilang. Jadi, sifatnya betul-betul kompresibel.

Selain perbedaan tersebut, pada kondisi tertentu hukum gerakan untuk zat cair dan gas secara praktis adalah sama. Salah satu keadaan yang dimaksudkan adalah, gas mengalir dengan kecepatan yang rendah dibanding kecepatan suara didalamnya.

Bidang hidrolika khusus mempelajari gerakan zat cair. INTERNAL FLOW dari gas hanya disinggung jika kecepatan alirnya jauh lebih rendah dibanding kecepatan suara, sehingga sifat kompresibelnya dapat kita abaikan. Kasus demikian banyak kita jumpai dalam bidang teknik; misalnya : aliran udara dalam sistem ventilasi dan saluran-saluran gas (AIR DUCTS).

Mempelajari kasus aliran zat cair dan juga gas-gas jauh lebih sukar dan rumit dibanding benda-padat, karena mekanika benda-padat hanya untuk partikel-partikel yang saling terikat kuat (RIGID BODIES) ; sedangkan mekanika fluida, yang dijadikan objek adalah media yang memiliki sangat banyak partikel-partikel dengan berbagai ragam gerakan relatifnya.

GALILEO telah membuat hukum : BAHWA JAUH LEBIH MUDAH MEMPELAJARI GERAKAN BENDA-BENDA DI-LANGIT YANG LETAKNYA JAUH DARI BUMI DIBANDING MEMPELAJARI ALIRAN YANG PANJANGNYA HANYA 1 FOOT.

Akibat kesulitan inilah maka teori mekanika fluida menimbulkan 2 pendapat yang berbeda.

Pendapat pertama adalah analisa matematika yang betul-betul teoritis dan bertolak dari rumus-rumus mekanika yang menyebabkan timbulnya ilmu hidromekanika-teoritis yang pernah disingkirkan untuk selang waktu yang cukup lama. Metode yang diutarakan merupakan cara-cara yang efektif dan pula menarik untuk bidang penelitian.

Namun cara teoritis ini banyak menemukan hambatan & kesukaran sehingga tak mampu menjawab pertanyaan dari kasus-kasus praktis.

Namun tuntutan yang selalu membuntuti bidang teknik praktis akhirnya menelorkan ilmu-baru tentang aliran fluida, yakni HIDROLIKA (HYDRAULICS) karena para ahli harus mengalihkan perhatiannya kepada eksperimen yang ekstensif dan pengumpulan data fakta agar bisa diterapkan kepada kasus-kasus teknik.

Memang semula hidrolika hanya merupakan ilmu yang sifatnya empiris murni; namun sekarang, kita dapat pula memberikan pembuktian secara hidromekanik teoritis untuk memecahkan berbagai kasus; sebaliknya didalam hidromekanika teoritis kita banyak menerapkan eksperimen guna menyesuaikan dan memudahkan membuat kesimpulan. Oleh sebab itu, garis batas yang membedakan ke-2 metode tersebut dapat dihapuskan secara berangsur-angsur.

Cara-cara penyelidikan mekanika fluida, terutama aliran fluida menurut hidrolika adalah sebagai berikut :

Kasus yang kita selidiki kita buat sesederhana mungkin dan diusahakan IDEAL, kemudian kita menerapkan hukum-hukum dari mekanika teori.

Hasil yang didapat kita bandingkan dengan data-data hasil pengujian; perbedaannya kita hitung; kemudian rumus-rumus teoritis serta jawabannya kita atur sedemikian rupa sehingga dapat diterapkan untuk hal-hal yang praktis.

Banyak kasus yang bisa timbul, yang secara praktis menentang analisa-teoritis, ini kita selidiki dengan cara-cara pengukuran dan pengujian; hasil yang didapat kita pakai sebagai rumus-empiris. Oleh sebab itulah, hidrolika kita kelompokkan sebagai ilmu yang sifatnya SEMI-EMPIRIS.

Hidrolika juga merupakan ilmu-terapan selain ilmu teknik (ENGINEERING SCIENCE) karena ia muncul akibat tuntutan & kebutuhan hidup manusia dan sangat luas penggunaannya dalam bidang teknik; seperti misalnya metode perhitungan & perencanaan bangunan-air :

- . Dam –. Parit & terusan (CANALS); –. Pintu air (WEIRS)
- . Jaring-jaring pipa saluran.

Dalam bidang permesinan :

- . Pompa; –. Turbin; –. Fluid couplings;
- . Berbagai peralatan lain dalam berbagai cabang ilmu teknik.
- . Perencanaan MACHINE TOOLS.
- . Bidang penuangan dan tempa logam.
- . Pembuatan barang-barang plastik, dsb.

Contoh lain yang menggunakan prinsip hidrolika :

- . Perencanaan canggih pesawat udara dengan fluid drives.
- . Sistem bahan bakar dan pelumasan.
- . SHOCK ABSORBER hidrolik.

1.2. SEJARAH DAN PERKEMBANGAN

Munculnya ilmu hidrolika karena mengikuti penemuan berbagai hukum dan lahirnya sejumlah kasus yang punya hubungan dengan keseimbangan & gerakan fluida.

Yang pertama mempelajari hidrolika adalah LEONARDO DA VINCI (pertengahan abad XV) dengan karya tulisnya : ON THE FLOW OF WATER AND RIVER STRUCTURES.

Setelah itu ia melakukan observasi dan memperoleh pengalaman membangun instalasi hidrolika di MILAN (ITALIA) dan juga di FLORENCE dsb.

Berikutnya muncul GALILEO dengan studi sistematis mengenai dasar-dasar hidrostatika.

Pada 1643 seorang murid GALILEO bernama TORRICELLI memperkenalkan hukum tentang aliran-bebas zat cair melewati lobang (celah).

Pada 1650 diperkenalkan hukum distribusi tekanan dalam zat cair yang dikenal dengan hukum PASCAL.

Hukum tentang gesekan dalam fluida yang mengalir; yang sangat terkenal sampai saat ini dirumuskan oleh ISAAC NEWTON. Selain itu ia juga dikenal sebagai penemu teori viskositas, dan pula dasar teori mengenai similaritas hidrodinamik.

Akan tetapi hukum-hukum tersebut sampai dengan pertengahan abad XVIII statusnya masih ngambang karena tak ada ilmu yang betul-betul mendalam tentang sifat fluida. Dasar teori mekanika fluida dan hidrolika kemudian menjadi baku setelah DANIEL BERNOULLI dan LEONHARD EULER memperkenalkan ilmunya dalam abad XVIII.

DANIEL BERNOULLI seorang pakar kelahiran SWISS (1700 – 1780) telah mendidik 11 orang pakar ilmu; hampir semuanya ahli matematik dan orang teknik. Selanjutnya ia menjadi staff akademi ilmu pengetahuan RUSIA yang kemudian menetap di St. PETERSBURG. Antara 1728 s/d 1778 ia telah menerbitkan 47 judul buku tentang matematika, mekanika dll. Tahun 1738 dengan tulisannya tentang hidrodinamika membuat rumusan yang merupakan hukum-dasar aliran fluida yang menyatakan hubungan antara tekanan (p); kecepatan (v) dan HEAD (H) dari fluida. Persamaan BERNOULLI merupakan prinsip dari teori mekanika fluida secara umum, dan khususnya hidrolika.

Pakar lain yang juga perlu diketahui adalah seorang ahli matematika, fisika dan astronomi LEONHARD EULER (1707 – 1783) dari negeri SWITZERLAND tinggal di St. PETERSBURG.

Tahun 1755 ia menemukan persamaan diferensial-umum aliran fluida-ideal (NON VISCOUS) bila di-integral merupakan persamaan BERNOULLI. Ini merupakan tonggak awal metode analisa teoritis dalam bidang mekanika fluida. Selain itu EULER juga sebagai pakar yang menurunkan persamaan-usaha (WORK) semua mesin-mesin hidrolik jenis ROTODINAMIK; seperti turbin; pompa sentrifugal dan juga FANS; dan juga teori gaya-apung.

Pakar lainnya dalam bidang hidrolika adalah LOMONOSOV (menurut cerita orang RUSIA).

Jadi session I yang merupakan awal perkembangan ilmu hidrolika adalah hasil karya dari BERNOULLI; EULER; LOMONOSOV.

Dalam session II yang lahir dalam tengah-abad-dua dari abad XVIII dan juga abad XIX hanya merupakan penemuan data-data eksperimen dari aliran pada saluran terbuka & saluran tertutup dan juga faktor koreksi persamaan BERNOULLI (∞). Kemampuan analisa sebelumnya hanya

didasarkan teori semata-mata yang menyangkut fluida-ideal sehingga tidak dapat memenuhi selera bidang praktis, seperti misalnya yang menyangkut pengaruh viskositet.

Orang-orang yang terkenal dalam periode ini adalah :

ANTOINE CHEZY	– experimentalist.
HENRY DARCY	– Francis.
JEAN POISEUILLE	– Francis.
JULIUS WEISBACH	– German.
G. HAGEN	– German.
LAGRANGE	
HELMHOLTZ	
SAINT-VENANT	

Hasil yang paling menarik dan lengkap adalah dari WEISBACH (1806 – 1871) yang masih dianut orang sampai saat ini.

Dalam session berikutnya ditemukan masalah yang memulai abad mekanika fluida, seperti : pengaruh viskositet fluida; teori similaritas dan berbagai teori serta hal-hal praktis.

Perkembangan seperti itu tercetus akibat tuntutan masalah produksi dan perkembangan teknologi; sehingga muncullah beberapa pakar :

GEORGE STOKES	(1819 – 1903).
OSBORNE REYNOLDS	(1842 – 1912).
NIKOLAI JOUKOWSKI	(1847 – 1921).
N. PETROV	(1836 – 1920). dll.

STOKES telah menurunkan teori dasar dari aliran fluida yang memperhitungkan viskositet dan berbagai masalah lainnya.

REYNOLDS menetapkan teori SIMILARITAS yang sangat memudahkan kita dalam menarik kesimpulan dan sistematik dari data-data eksperimen yang sebelumnya telah dikumpulkan.

REYNOLDS juga sebagai pemula dari teori aliran TURBULENTT yang amat sangat rumit itu.

N.P. PETROV menyelidiki aplikasi teori NEWTON tentang gesekan dalam fluida; sehingga dianggap sebagai penemu teori PELUMAS MESIN (LUBRICATION).

NIKOLAI JOUKOWSKI yang interest dalam hidrolika berhasil menggabungkan hasil-hasil eksperimen dengan teori-teori yang telah ada sehingga bermanfaat untuk keperluan penelitian dan aplikasi.

Bidang lain yang telah dibakukan adalah dasar teori tentang AERODYNAMICS.

Yang paling menarik dari penemuan JOUKOWSKI adalah teori tentang WATER HAMMER yang menyebabkan saluran-saluran pecah karena alat-alat ditutup mendadak (VALVE ; TURBINE GATES ; FAUCET) dan berbagai kasus dalam bangunan-air; seperti teori aliran air-tanah (GROUND WATER = PERCOLATION THEORY). Ia juga menyelidiki keadaan aliran melalui lobang (ORIFICE); teori pelumasan (LUBRICATION); distribusi kecepatan dalam saluran; reaksi dari semprotan fluida dan getaran akibat fluida; analogi antara terjadinya gelombang (WAVE FORMATION) pada permukaan zat cair dan perubahan tekanan yang drastis dalam aliran udara supersonik atau teori SHOCKWAVES.

Untuk bidang hidrolika nama-nama pakar yang juga harus dicantumkan adalah : LUDWIG PRANDTL ; THEODOR VON KARMAN ; JOHANN NIKURADSE. PRANDTL & KARMAN terkenal dalam bidang mekanika fluida & aerodinamika terutama dalam kasus turbulensi, sedangkan temannya NIKURADSE menurunkan teori aliran dalam pipa.

Sebenarnya mereka-mereka itu mempelajari kasus-kasus tersebut karena keadaan yang memaksa, akibat tantangan untuk membangun stasion-stasion PLTA ; jaring-jaring pipa dan terusan (CANALS) berukuran raksasa agar kebutuhan hidup manusia selalu terpenuhi.

Menurut orang-orang RUSIA, orang mereka yang berjasa dalam bidang mekanika fluida adalah :

- N.N. PAVLOVSKY : aliran pada saluran terbuka, teori energi air-laut.
- L.S. LEIBENZON : Cairan kental; hidrolika minyak bumi (PETROLEUM) dan air-tanah.

1.3. GAYA-GAYA DALAM FLUIDA.

TEKANAN

Menurut teori hidrolika, fluida adalah suatu kontinyum (CONTINUUM) yakni suatu bahan yang bersifat kontinyu, berusaha menempati seluruh ruangan, tanpa ada yang kosong.

Oleh karena itu, struktur molekuler dapat diabaikan, sehingga, fluida dengan partikel yang sangat kecil sekalipun mesti terbentuk dari molekul-molekul yang sangat banyak jumlahnya.

Karena fluida selalu berusaha molor (YIELDS) walaupun tegangannya sangat kecil maka ia tak bisa menimbulkan gaya yang terpusat. Semua gaya-gaya yang diberikan padanya akan didistribusikan merata dalam seluruh volume (massa) atau searah dengan permukaannya. Jadi gaya luar yang bisa bekerja pada setiap-volume fluida hanyalah gaya inersia (BODY FORCE) atau gaya permukaan (SURFACE FORCE).

Gaya inersia sebanding massa fluida, untuk bahan yang homogen sebanding dengan volume fluida. Ini timbul terutama akibat pengaruh gravitasi, dan juga gaya yang dialami fluida dalam bejana yang bergerak dengan akselerasi, atau fluida yang mengalir dengan akselerasi dalam saluran yang stasioner. Besaran ini didapat dari teori D'ALEMBERT.

Gaya permukaan terbagi kontinyu pada seluruh permukaan fluida; jika distribusinya merata maka sebanding dengan luas permukaan. Ini timbul akibat pengaruh lingkungan dari fluida yang kita tinjau atau akibat pengaruh benda lain yang bersinggungan dengan volume tersebut (benda padat; cair; gas).

Jika gaya permukaan besarnya (ΔR) bekerja pada luasan (ΔS) secara tegak-lurus ataupun menyudut, maka gaya tersebut bisa diuraikan menjadi :

–. Komponen normal (tegak lurus) = ΔP .

–. Komponen tangensial = ΔT ; seperti **Gb.1**.

Komponen pertama juga disebut GAYA-TEKAN (TEKANAN).

KOMPONEN KEDUA juga dinamakan GAYA-GESEK atau GAYA GESER.

Istilah tersebut juga berlaku untuk 1 satuan gaya; maksudnya yang dialami oleh 1 satuan. Untuk gaya inersia dihitung per-satuan massa, sedangkan untuk gaya permukaan per-satuan luas.

Karena gaya inersia = massa x percepatan; maka gaya inersia spesifik (YANG DIALAMI 1 SATUAN MASSA) akan = percepatan yang dialami massa fluida.

Tekanan hidrostatik atau hanya disebut TEKANAN adalah besarnya gaya-tekan yang dialami 1 satuan luas. Untuk yang bersifat merata (atau perhitungan harga rata-rata), maka tekanan :

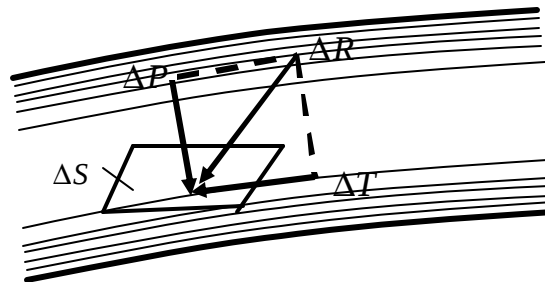
$$p = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

Jadi secara umum, definisi dari tekanan hidrostatik pada suatu titik adalah harga-batas $\Delta P / \Delta S$ jika (ΔS) mendekati $\rightarrow 0$.

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad \dots\dots\dots(1.2)$$

Bila tekanan diukur diatas titik (0) absolut; dinamakan tekanan absolut.

Bila diukur diatas atau dibawah tekanan atmosfer (sebagai patokan) dinamakan GAUGE PRESSURE.



Gb.1

Jadi,

$$p_{ab} = p_{gauge} + p_{atm}$$

Satuan untuk tekanan dalam bidang teknik adalah atmosfer standard :

$$1 \text{ atm} = 1 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Cm}^2} \right] = 10.000 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] = 14,22 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right]$$

Untuk tegangan geser atau gaya geser dalam fluida, secara definitif sama dengan tekanan :

$$t = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta S} \quad \dots\dots\dots(1.3)$$

1.4 SIFAT-SIFAT ZAT CAIR

Karena hidrolika hanya membahas zat cair; maka kita harus tahu sifatsifat fisiknya terlebih dahulu; yang dinyatakan dengan simbol berikut :

- . Berat jenis adalah beratnya per-satuan volume :

$$g = \frac{G}{W} \quad [\text{Kg/m}^3] \quad \dots\dots\dots(1.4)$$

dimana : G = berat zat cair.

W = volumenya.

Besarnya (g) tergantung satuan yang kita pakai (metrik; British).

Untuk air pada $4^\circ\text{C} \rightarrow g = 1000 [\text{Kg/m}^3] = 0,001 [\text{Kg/Cm}^3]$

- . Kerapatan (DENSITY) adalah massa per-satuan volume.

$$r = \frac{M}{W} \left[\frac{\text{Kg} \cdot \text{detik}^2}{\text{m}^4} \right] \quad \dots\dots\dots(1.5)$$

dimana : M = massa dari zat cair bervolume = W .

Karena $G = g \cdot M$ maka antara g dan r ada hubungan :

$$r = \frac{G}{g \cdot W} = \frac{g}{g} \quad \dots\dots\dots(1.6)$$

Untuk zat cair yang tak homogen rumus (1.4) dan juga (1.5) menyatakan harga rata-rata. Agar dapat menghitung harga absolut dari (g) dan (r) pada suatu titik, volumenya kita anggap cenderung berharga = 0; harga-batas masing-masing perbandingan tersebut bisa kita hitung.

- . Specific gravity (d) suatu zat cair adalah perbandingan berat-jenisnya terhadap air 4°C :

$$d = \frac{g_n}{g_{\text{air}}} \quad \dots\dots\dots(1.7)$$

Sifat-sifat fisik zat cair yang kita harus ketahui adalah : KOMPRESIBILITAS; KOEFISIEN MUAI TERMIS; TEGANGAN TARIK; VISKOSITET; PENGUAPAN (EVAPORABILITY).

1. KOMPRESIBILITAS : adalah perubahan volume zat cair akibat perubahan tekanan yang dialami.

Perubahan volume relatif per-satuan tekanan disebut angka-kompresibilitas; (b_p) yang dinyatakan dengan rumus :

$$b_p = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \text{ [Kg/Cm}^2\text{]} \dots\dots\dots(1.8)$$

Tanda (-) karena kenaikan tekanan mengakibatkan kerutnya volume. Kebalikan dari angka kompresibilitas dinamakan MODULUS ELASTISITAS VOLUME (VOLUME OR BULK MODULUS OF ELASTICITY) :

$$K = \frac{1}{b_p} = r \frac{dp}{dr} \text{ [Kg/Cm}^2\text{]}$$

Harga (K) sedikit terpengaruh oleh (T) dan (p).

Contoh : Air t = 0 °C ; p = 5 Kg/Cm² → K = 18900 Kg/Cm²

t = 20 °C ; p = 5 Kg/Cm² → K = 22170 Kg/Cm²

Diambil harga rata-rata K = 20000 Kg/Cm².

Jadi bila tekanan dinaikkan 1 Kg/Cm² ; volume-

berkurang hanya $\frac{1}{20000}$ volume mula.

Modulus (K) zat cair yang lain, keadaannya juga seperti yang dimiliki air. Secara umum semua zat cair dianggap INKOMPRESIBEL ; sehingga berat-jenis (g) tak dipengaruhi oleh (p).

2. KOEFISIEN MUAI TERMIS : Perubahan relatif volume untuk kenaikan suhu sebesar 1 °C.

$$b_t = \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \dots\dots\dots(1.9)$$

Contoh : Air 0 °C dan 1 Kg/Cm² → $b_t = 14 \cdot 10^{-6}$.

100 °C dan 100 Kg/Cm² → $b_t = 700 \cdot 10^{-6}$.

Untuk bahan-bahan produk minyak-bumi $b_t = \left(\frac{1}{2} \div 2 \right) \times \text{AIR}$.

3. TEGANGAN TARIK : Untuk zat cair diabaikan.

Air putus dengan tegangan hanya 0,00036 (Kg/Cm²); semakin berkurang untuk temperatur yang bertambah.

Jika selang waktu kerja beban-tarik sangat pendek, hambatan (tahanan = RESISTANCE) berharga lebih besar. Dalam praktek, air dianggap tak mampu menahan tegangan tarik.

Permukaan zat cair mempunyai tegangan permukaan yang cenderung menggulung zat cair sehingga membentuk tetesan (bola) sehingga timbul tambahan tegangan didalam zat cair itu. Tapi tegangan itu hanya terlihat untuk volume yang berukuran sangat kecil.

Pada pipa kapiler gejala tersebut menyebabkan zat cair naik lebih tinggi; atau turun lebih rendah dari bidang datar (permukaan); gejala tersebut dinamakan KAPILERITAS atau MENISKUS. Untuk pipa-gelas dengan diameter = (d); kenaikan atau penurunannya dinyatakan dengan :

$$h = \frac{k}{d} \quad [\text{mm}] \quad \dots\dots\dots(1.10)$$

dimana : $k = (\text{mm}^2)$ untuk air = +30; $H_g = -14$; alkohol sebesar = +12.

Untuk fluida riil 3 sifat-sifat diatas pengaruhnya sangat kecil dan tak begitu penting; yang lebih berperan adalah sifat ke-4 yakni VISKOSITET.

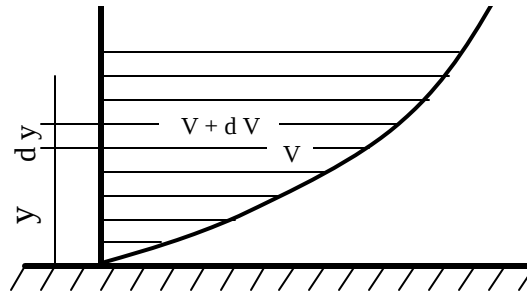
4. VISKOSITET : Kemampuan menahan geseran atau tergeser terhadap lapisan-lapisannya. Gejala ini tidak terlalu sulit kita pahami, pada hal-hal khusus dinyatakan dengan besarnya tegangan geser.

Viskositet merupakan kebalikan dari FLUIDITAS.

Zat cair yang kental (GLYCERINE & LUBRICANTS) fluiditasnya rendah. Apabila cairan-kental mengalir terhadap bidang padat maka terjadi perubahan kecepatan (dalam arah tegak lurus) terhadap arah aliran; hal mana disebabkan oleh viskositet. Lihat **Gb.2.**

Makin dekat lapisan terhadap bidang padat, kecepatan lapisan (v) semakin kecil; pada $y = 0 \rightarrow v = 0$.

Jadi tiap lapisan bergeser terhadap yang lainnya, sehingga timbul gaya gesek atau gaya geseran.



Gb.2

Menurut hipotesa ISAAC NEWTON (1686) yang kemudian dibuktikan oleh N.P. PETROV (1883); regangan geser (SHEAR STRAIN) tergantung pada jenis fluida dan juga jenis aliran. Untuk LAMINER regangan tersebut sebanding dengan VELOCITY GRADIENT dalam arah $\perp$ aliran fluida :

$$t = m \frac{dv}{dy} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] \quad \dots\dots\dots(1.11)$$

dimana : m = viskositet absolut (viskositet dinamik).

dv = tambahan kecepatan yang sesuai dengan tambahan jarak (dy).

Gradien kecepatan (dv / dy) menggambarkan perubahan kecepatan per-satuan panjang dalam arah (y), sehingga juga menyatakan tegangan geser zat cair pada suatu titik.

Bila tegangan geser merata pada luas penampang (S) maka regangan geser total (=gaya gesek) yang bekerja pada luasan tersebut adalah :

$$T = m \frac{dv}{dy} \cdot S \quad \dots\dots\dots(1.12)$$

Dari rumus (1.11) kita dapat menentukan dimensi viskositet absolut (m) yakni :

$$m = \frac{t}{dv/dy} \quad \left[\frac{\text{Kg} \cdot dt}{m^2} \right]$$

Untuk sistem CGS satuan untuk viskositet = POISE.

$$1 \text{ POISE} = 1 \left[\frac{\text{dyne} \cdot \text{sec}}{\text{Cm}^2} \right]$$

Karena 1 Kg-gaya = 981000 DYNE; dan $1 m^2 = 10^4 \text{ Cm}^2$ maka :

$$1 \text{ POISE} = \frac{1}{98,1} \left[\frac{\text{kg} \cdot dt}{m^2} \right]$$

Ciri lain dari viskositet adalah VISKOSITET KINEMATIK (n)

$$n = \frac{m}{r} \left[\frac{m^2}{dt} \right] \quad \dots\dots\dots(1.13)$$

Istilah kinematik disini berarti bahwa tak ada pengaruh dimensi gaya (Kg). Satuan dari viskositet kinematik adalah STOKE :

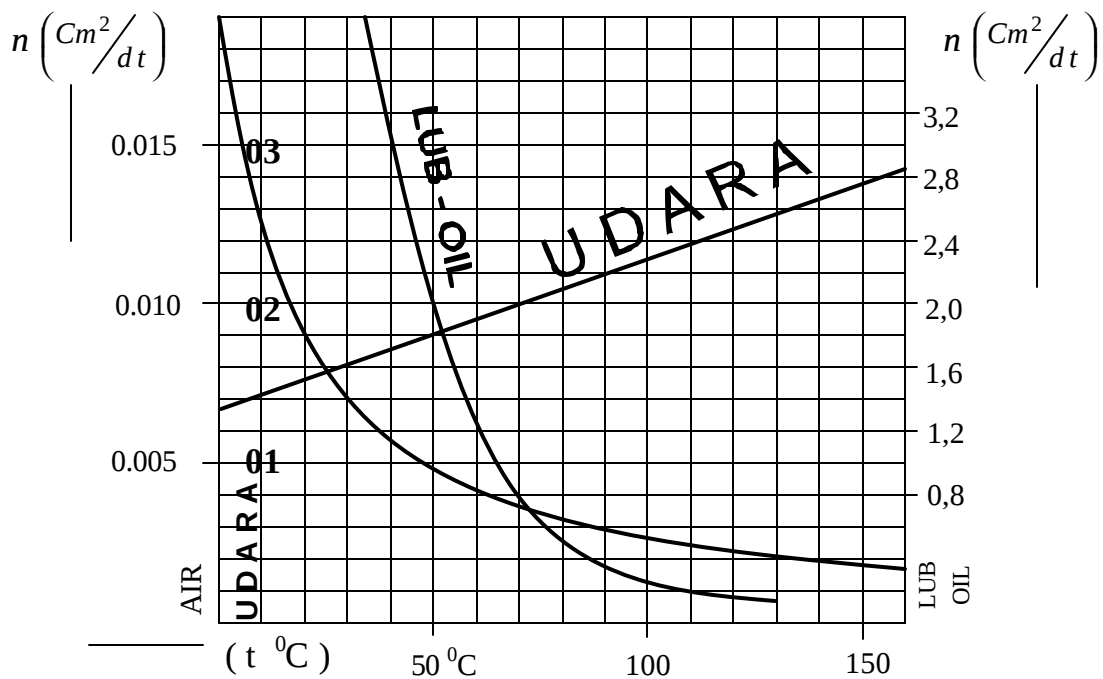
$$1 \text{ STOKE} = 1 \left[\frac{\text{Cm}^2}{dt} \right]$$

Viskositet zat cair sangat dipengaruhi oleh temperatur; berkurang bila temperatur semakin tinggi; seperti pada **Gb.3**.

Untuk gas-gas sifatnya adalah terbalik. Viskositet semakin bertambah mengikuti temperatur. Hal demikian terjadi karena keadaan viskositet untuk gas berbeda terhadap zat cair.

Pada zat cair molekul-molekul lebih rapat susunannya dibanding gas dan viskositet adalah akibat dari gaya tarik antar molekul (KOHESI). Gaya ini berkurang, sehingga viskositet juga menurun bila temperatur meningkat; sedangkan pada gas-gas, viskositet itu terjadi karena pertukaran-kalor yang SEMRAWUT antar molekul-molekulnya, sehingga bertambah dengan naiknya temperatur.

Viskositet dinamik (m) baik cairan maupun gas-gas akibat tekanan, perubahannya amat-sangat kecil, sehingga dapat diabaikan. Sifat ini ikut diperhitungkan hanya untuk tekanan yang ber-skala sangat tinggi. Ini berarti tegangan-geser fluida dianggap tak terpengaruh oleh tekanan absolut.



Gb.3

Menurut pers. (1.11) tegangan geser hanya timbul pada fluida yang bergerak; jadi, viskositet timbul hanya jika fluida sedang mengalir. Maksudnya, istilah viskositet hanya timbul apabila fluida sudah mengalir. Didalam fluida yang dalam keadaan diam tidak ada tegangan geser yang terjadi.

Dapat kita simpulkan, hukum tentang gesekan dalam fluida (akibat viskositet) keadaannya memang sangat berbeda dengan gesekan benda-padat.

5. PENGUAPAN (EVAPORABILITY).

Sifat ini dimiliki oleh semua jenis cairan. Intensitasnya berbeda-beda untuk setiap jenis cairan, dan tergantung kondisinya.

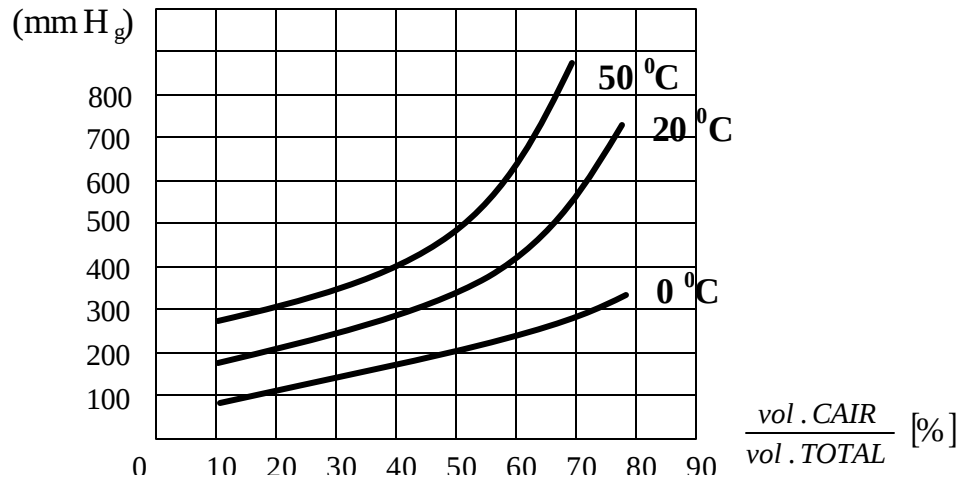
Salah satu istilah yang menjadi pertanda sifat ini adalah TITIK-DIDIH zat cair pada tekanan atmosfer normal. Makin tinggi titik-didih, makin berkurang intensitas penguapan (sedikit yang menguap). Pada sistem hidrolik pesawat udara seringkali kita harus berfokus pada masalah penguapan dan bahkan titik-didih zat cair dalam saluran tertutup pada berbagai tekanan dan temperatur. Oleh sebab itu istilah yang lebih mengena untuk sifat penguapan

ini adalah : TEKANAN UAP JENUH (p_t) yang dipengaruhi besarnya temperatur. Makin tinggi tekanan jenuh untuk suatu temperatur, berarti, makin besar laju-penguapannya (RATE OF EVAPORATION).

Tekanan jenuh dari berbagai zat cair bertambah besar mengikuti temperatur, tapi pertambahannya tidak merata.

Untuk cairan murni $p_t = f(t)$.

Untuk campuran, seperti bensin misalnya, tekanan jenuh (p_t) dipengaruhi tidak hanya oleh sifat-sifat fisika-kimia dan temperatur, tapi juga faktor lain, seperti volume relatif FASE CAIR dan FASE UAP yang sedang terbentuk.



Gb.4

Tekanan uap semakin bertambah bila porsi yang ditempati fase cair semakin banyak; seperti **Gb.4.** yang menyatakan hubungan tersebut untuk zat cair bensin. Disini terlihat pengaruh tekanan-uap

terhadap RATIO $\left(\frac{\text{cairan}}{\text{uap}} \right)$ untuk 3 daerah temperatur. Sifat-sifat

fisika berbagai jenis cairan yang digunakan pada sistem ROCKET dan PESAWAT UDARA, lihat **Tabel. 1.**

Tabel.1. Basic Physical Properties of Some Liquids Employed in Aircraft and Rocket Systems

Liquid	Specific Gravity d	Kinematik viscosity η at temperature t, centistokes							Vapour pressure p _t , mm H _g			Volume modulus K, kg/cm ²	
		+ 70 °C	+ 50 °C	+ 20 °C	0 °C	− 20 °C	− 50 °C	+ 60 °C	+ 40 °C	+ 20 °C			
Aviation gasoline 295 / 130	0.750	----	0.54	0.73	0.93	1.26	2.60	----	195	90	13,300		
Kerosene T – 1	0.800 – 0.850	1.2	1.5	2.5	4.0	8.0	25	59	27	11.5	13,000		
Kerosene T – 2	0.775	----	----	1.05	2.0	----	5.5	----	100	----	13,000		
Lubricating Oil MC – 20	0.895	65	155	1,100	10,100	congcal s							
Lubricating Oil MK – 8	0.885	----	8.3	30	----	498	----						
Hydraulic fluid AMT – 10	0.850	7.5	10	16	42	130	1.250				13,300		
Nitric acid (98%)	1.510	0.30	0.38	0.58	0.70	0.83	1.72	355	156	60			
Ethyl alcohol	0.790	----	----	1.52	----	----	6.5	352	135	44			
Hydrogen peroxide (80%)	1.34	----	----	0.95	1.42	----	----	61.4	56.7	46.4			
Liquid oxygen	1.15 – 1.25	t	−175 °C	− 184 °C	−190 °C	−200 °C	−204 °C	T	−140 °C	−160 °C	−190 °C	−200 °C	
		V cst	0.125	0.170	0.193	0.257	0.297	P _t atm	21	7	0.45	0.11	

Bab II

HIDROSTATIKA

2.1. TEKANAN HIDROSTATIK

Dalam Bab I telah dikatakan bahwa tekanan yang paling mungkin terjadi didalam fluida dalam keadaan-diam adalah akibat kompresi yang dinamakan tekanan hidrostatik. 2 sifatnya yang terpenting adalah :

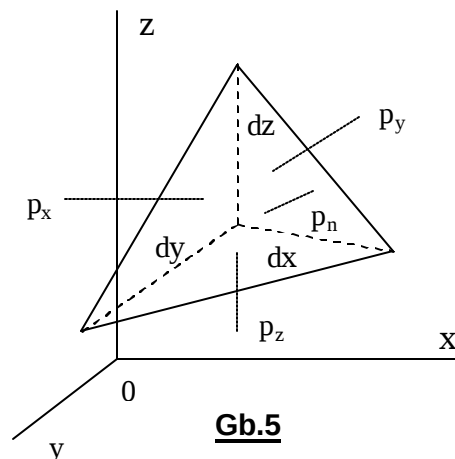
1. Tekanan hidrostatik pada bidang batas dari fluida arahnya selalu kedalam serta tegak-lurus terhadap bidang tersebut.

Keadaan ini merupakan akibat dari kenyataan bahwa dalam fluida-diam tidak mungkin terjadi tegangan tarik (TENSILE) maupun tegangan geser (SHEAR). Tekanan hidrostatik arahnya NORMAL PERMUKAAN BATAS; karena jika tidak maka akan timbul komponen tarik maupun geser. Istilah BOUNDARY (bidang batas) maksudnya bidang (riil / fiktif) dari suatu massa elementer dalam fluida yang volumenya tertentu.

2. Tekanan hidrostatik pada setiap titik dalam massa fluida sama besarnya kesegala-arrah. Jadi, tekanan dalam fluida tidak terpengaruh oleh kemiringan dari bidang pada titik yang kita tinjau (selidiki). Hal ini dibuktikan sebagai berikut.

Misalkan massa fluida yang diam mempunyai bentuk prisma-sisi-tegak (RIGHT ANGLED TETRAHEDRON) dengan 3 rusuk (dx ; dy ; dz) yang masing-masing sejajar sumbu-sumbu koordinat seperti **Gb.5**.

Misalkan disebelah volume yang



kita tinjau itu bekerja gaya-berat (BODY FORCE) yang mempunyai komponen X ; Y ; Z ; dan tekanan-tekanan p_x ; p_y ; p_z merupakan tekanan-tekanan hidrostatik yang dialami oleh bidang-bidang datar yang posisinya tegak-lurus sumbu-sumbu (x ; y ; z) dan p_n = tekanan hidrostatik pada bidang miring yang luasnya = dS . Semua tekanan-tekanan tersebut berarah tegak-lurus terhadap masing-masing bidang tempatnya bekerja. Sekarang kita turunkan RUMUS KESEIMBANGAN GAYA dari volume elementer tersebut dalam arah sumbu (x).

Jumlah dari semua proyeksi gaya-gaya tekanan terhadap sumbu (Ox) adalah :

$$P_x = p_x \cdot \frac{1}{2} dy dz - p_n dS \cos(\widehat{p_n; x}).$$

Massa dari prisma = volume $\times$ kerapatan = $\frac{1}{6} dx dy dz r$.

Sehingga gaya beratnya dalam arah (sejajar) sumbu (x) adalah :

$$F_x = \frac{1}{6} dx dy dz r X$$

Jadi rumus keseimbangan untuk prisma tersebut berupa :

$$\frac{1}{2} dy dz p_x - p_n dS \cos(\widehat{p_n; x}) + \frac{1}{6} dx dy dz r X = 0$$

Jika seluruhnya dibagi ($\frac{1}{2} dy dz$) yang merupakan proyeksi dari luas bidang miring (dS) terhadap ($y=0, z=0$) dan besarnya = $dS \cos(\widehat{p_n; x})$ sehingga didapat :

$$p_x - p_n + \frac{1}{3} dx r X = 0$$

Seandainya prisma tersebut dibuat mengkerut volumenya sehingga suku-terakhir persamaan yang berisi (dx) menjadi $\rightarrow 0$ dan harga dari p_x dan p_n tertentu besarnya, maka dalam keadaan limit :

$$p_x - p_n = 0 \quad \text{atau} \quad p_x = p_n$$

Kita dapat membuktikan bentuk persamaan-persamaan keseimbangan yang persis sama dalam arah paralel sumbu-sumbu (Z) dan juga (y) seperti yang telah kita turunkan untuk sumbu

(x) diatas sehingga didapat :

$$p_y = p_n \quad \text{dan juga} \quad p_z = p_n$$

atau untuk keseluruhannya :

$$p_x = p_y = p_z = p_n \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Karena dalam menentukan potongan-potongan dx ; dy ; dz dari prisma tadi adalah sembarangan, berarti kemiringan luasan (dS) juga sembarangan; sehingga kita bisa menarik kesimpulan sbb :

Jika prisma kita kerutkan menjadi sebuah titik, tekanan pada titik tersebut sama besarnya kesegala arah.

Fenomena demikian dapat pula dibuktikan secara gampang menggunakan rumus-rumus kekuatan bahan yang menyangkut tegangan desak (COMPRESSION STRESS) yang bekerja pada 2 atau 3 arah yang saling tegak-lurus; yang rumus-rumusnya :

$$s_n = s_x \cos^2 j + s_y \sin^2 j \quad \text{*trans.by 738M.}$$

$$t = \frac{1}{2} \left(s_x - s_y \right) \sin 2j$$

Untuk ini kita hanya harus menganggap tegangan-geser = 0; sehingga didapat :

$$s_x = s_y = s_z = -p.$$

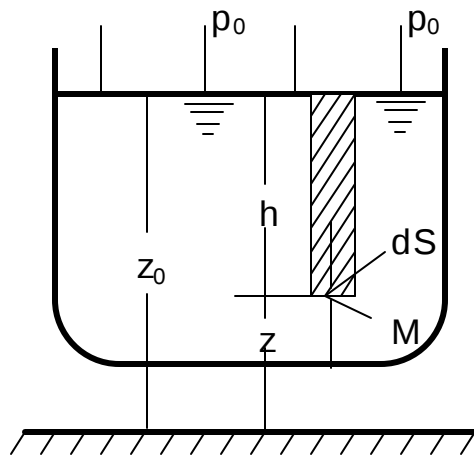
Kedua sifat-sifat tekanan hidrostatik, yang tadi telah kita buktikan kebenarannya terhadap fluida tidak-bergerak, juga berlaku untuk fluida ideal yang bergerak. Akan tetapi dalam fluida riil yang bergerak akan timbul tegangan geser, yang dalam pembuktian tadi kita abaikan (dianggap tidak ada); sehingga kita bisa membuat kesimpulan : DUA SIFAT-SIFAT TEKANAN HIDROSTATIK TADI TIDAK BERLAKU UNTUK FLUIDA RIIL.

2.2. RUMUS DASAR HIDROSTATIKA

Kita bahas yang pertama adalah kasus utama dari keseimbangan fluida apabila BODY FORCE yang bekerja hanyalah gaya-berat; kemudian menurunkan persamaan yang dapat menentukan TEKANAN HIDROSTATIK

pada sembarang titik dalam fluida yang volumenya tertentu. Jelas untuk kasus seperti ini permukaan-bebas fluida berupa bidang yang horisontal.

Menurut **Gb.6** gaya-gaya yang bekerja pada permukaan-bebas zat cair yang ada dalam bejana adalah tekanan (p_0). Sekarang akan kita hitung tekanan hidrostatik (p) yang terjadi pada sembarang titik (M) pada kedalaman (h) terhadap permukaan-bebas (FREE SURFACE OF FLUIDS). Bila luas elementer = dS dengan pusatnya titik (M); dengan dS sebagai alas kita lukiskan silinder elementer keatas (tegak) setinggi (h); kemudian mengacu pada rumus keseimbangan.



Gb.6

Tekanan zat cair pada alas silinder adalah dari luar dan $\perp$ alas; arahnya keatas.

Dengan menjumlahkan semua gaya vertikal yang dialami silinder maka didapat :

$$p \, dS - p_0 \, dS - g \, h \, dS = 0$$

Suku yang terakhir dalam persamaan menyatakan berat zat cair sebesar silinder. Gaya-gaya akibat tekanan pada keliling silinder tidak ikut serta membentuk persamaan karena ber-arah NORMAL TERHADAP BIDANG SAMPING. Setelah (dS) dihilangkan dan diatur bentuknya, maka :

$$p = p_0 + h \, g . \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Inilah yang dinamakan PERSAMAAN HIDROSTATIKA yang bisa dipakai menentukan tekanan pada sembarang titik dalam zat cair yang tidak bergerak. Terlihat, tekanan hidrostatik terdiri dari tekanan-luar (p_0) yang bekerja pada bidang-batas zat cair dan tekanan akibat beratnya zat cair yang terlentang (OVERLAYING) diatas luasan yang kita tinjau.

Tekanan (p_0) sama-besarnya untuk semua titik didalam volume zat cair dimanapun letaknya. Jadi menurut sifat ke-2 dari tekanan hidrostatik, kita juga dapat mengatakannya sebagai ZAT CAIR MEMPUNYAI SIFAT,

DAPAT MEMINDAHKAN TEKANAN KESEGALA ARAH DAN SAMA BESARNYA. Inilah yang dinamakan sebagai HUKUM PASCAL.

Dari pers. (2.2) terlihat pula tekanan dalam zat cair bertambah sebanding dengan kedalamannya secara linier; sama-besarnya untuk semua titik pada kedalaman yang sama.

Suatu bidang dengan tekanan yang sama pada semua titik-titiknya dinamakan bidang bertekanan-sama atau EQUIPOTENTIAL SURFACE.

Untuk peristiwa yang terjadi pada **Gb.6** bidang yang dimaksud letaknya horizontal; permukaan-bebasnya merupakan salah-satu contoh.

Jika kita mengambil datum sembarang berupa bidang horizontal, maka kita dapat menentukan koordinat (z) untuk suatu elevasi. Untuk titik (M) koordinatnya = z ; untuk permukaan bebas zat cair = z_0 . Apabila $z_0 - z = h$ kita masukkan dalam pers. (2.2) maka :

$$z + \frac{p}{g} = z_0 + \frac{p_0}{g}$$

Kita tahu bahwa (M) adalah sembarang titik, sehingga untuk fluida stasioner-elementer berlaku hubungan :

$$z + \frac{p}{g} = \text{konstan} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Koordinat z = elevasi.

p/g = PRESSURE HEAD yang harganya linier.

$z + p/g$ = PIEZOMETRIC HEAD.

Untuk fluida stasioner, PIEZOMETRIC HEAD harganya konstan didalam seluruh volumenya. Bentuk pers. (2.3) juga bisa kita buktikan kebenarannya dengan integral persamaan diferensial dari keseimbangan fluida; seperti pada Bab. BASIC EQUATIONS OF FLUIDS.

2.3. PRESSURE HEAD; VACUUM; MENGUKUR TEKANAN

Pressure head (p / g) menyatakan tingginya kolom zat cair tertentu dibandingkan terhadap tekanan absolut ataupun terhadap tekanan lebih (gauge pressure = p). Pressure head dari pada tekanan lebih dapat kita

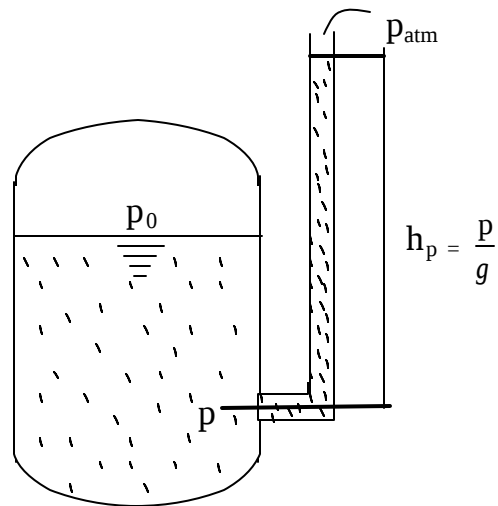
ukur memakai PIEZOMETER ; alat yang paling mudah dibuat untuk mengukur tekanan.

Piezometer dibuat dari pipa gelas ujung-atas terbuka, berhubungan dengan atmosfer, ujung-bawah kita hubungkan dengan lobang pada bejana dimana kita mengukur tekanannya, seperti **Gb.7**.

Bila pers. (2.2) diterapkan untuk piezometer, maka :

$$p_{ab} = p_{atm} + g \cdot h_p$$

dimana : p_{ab} = tekanan absolut dari zat cair pada tempat pemasangan.



Gb.7

p_{atm} = Tekanan atmosfer atau udara lingkungan.

Dengan demikian kita dapat menghitung tinggi zat cair dalam piezometer :

$$h_p = \frac{p_{ab} - p_{atm}}{g} = \frac{p_g}{g} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

atau hubungan $\rightarrow p_{ab} = p_g + p_{atm}$.

disini p_g = tekanan lebih (gauge pressure) pada elevasi yang sama.

Untuk membedakan istilah PRESSURE HEAD dan PRESSURE GAUGE :

Apabila permukaan bebas suatu fluida-diam bersinggungan dengan udara atmosfer, PRESSURE HEAD pada setiap titik = kedalaman titik tersebut.

Tekanan dalam fluida sering kali dinyatakan secara numerik, yakni dengan HEAD, seperti pers. (2.4). Sebagai contoh, tekanan sebesar 1 atmosfer.

$$h_1 = \frac{p}{g_{air}} = \frac{10.000}{1000} = 10 \text{ (m. Kolom air)}.$$

$$h_2 = \frac{p}{g_{Hg}} = \frac{10.000}{13.600} = 0,735 \text{ (m. Kolom } H_g \text{)}.$$

Apabila tekanan absolut yang terjadi didalam zat cair lebih kecil dari tekanan atmosfer maka terjadi VACUUM ; vacuum parsial atau mungkin total.

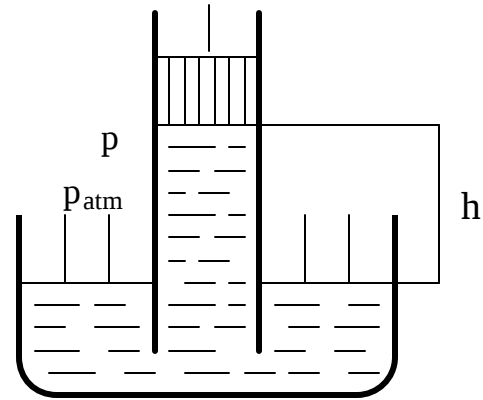
Besarnya vacuum adalah selisih antara tekanan atmosfer dan tekanan absolut :

$$p_{vac} = p_{atm} - p_{ab} \quad \text{atau} \quad h_{vac} = \frac{p_{atm} - p_{ab}}{g}$$

Sebagai contoh kita lihat sebuah tabung dengan torak didalamnya.

Lobang bawah tabung dicelup dalam bejana berisi zat cair, torak kemudian ditarik keatas, seperti **Gb.8**.

Karena zat cair mengikuti gerak torak maka akan naik dengan ketinggian (h) diatas permukaan bebasnya yang mengalami tekanan atmosfer. Untuk partikel zat cair yang terletak tepat dibawah torak, kedalamannya terhadap permukaan-bebas harus diperhitungkan negatif (-) ; sehingga dari pers. (2.2) tekanan absolut zat cair dibawah torak adalah :



Gb.8

$$p = p_{atm} - g h \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Besarnya vacuum yang terjadi adalah :

$$p_{vac} = p_{atm} - p = g h$$

$$\text{atau} \quad h_{vac} = \frac{p_{atm} - p}{g} = h$$

Bila torak posisinya tambah jauh keatas tekanan absolut dalam zat-cair semakin rendah. Harga ter-rendah untuk tekanan absolut adalah $p = 0$. Sehingga VACUUM yang maximum adalah $= p_{atm}$; dan elevasi maximum zat cair untuk contoh diatas, atau yang dinamakan dengan istilah TINGGI HISAP MAXIMUM dapat kita hitung dengan pers. (2.5) dengan menganggap $p = 0$ (atau untuk lebih teliti $p = p_t$) dimana $\rightarrow p_t =$ tekanan uap.

Apabila tekanan uap (p_t) kita abaikan maka :

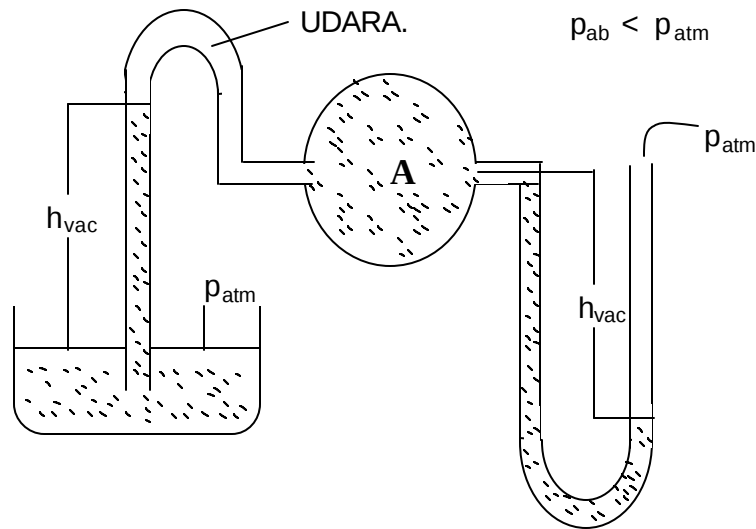
$$h_{max} = \frac{p_{atm}}{g}$$

Pada tekanan atmosfer yang normal, yakni $p_{atm} = 1,033 \text{ kg/Cm}^2$ besarnya h_{max} adalah :

- +) untuk air = 10,33 m.
- +) untuk bensin = 13,8 m ($\rho = 750 \text{ kg/m}^3$).
- +) untuk air raksa = 0,76 m.

Alat paling sederhana untuk mengukur VACUUM (atau tekanan negatif) adalah dengan pipa-gelas berbentuk U ; biasa disebut (PIPA – U) dengan jenis :

- . Salah satu ujung terbuka seperti pipa – U sebelah kanan **Gb.9** ;
- . Atau jenis terbalik dimana ujung bebasnya dicelupkan dalam zat cair seperti sebelah kiri dalam **Gb.9**.



Gb.9

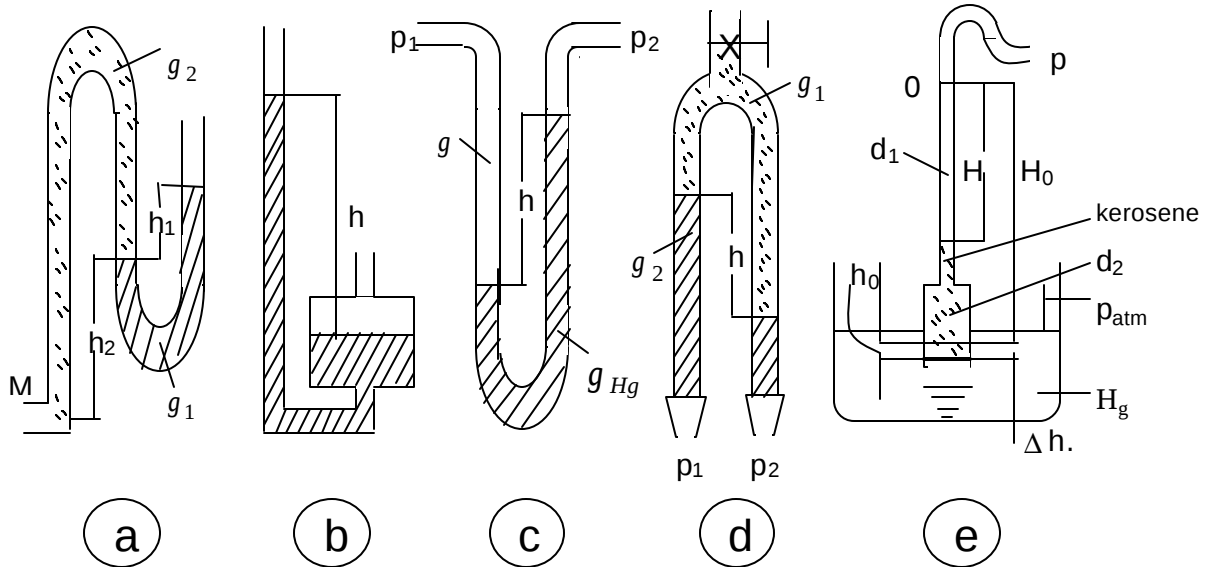
Dalam laboratorium, untuk mengukur tekanan selain PIEZOMETER digunakan berbagai jenis MANOMETER dan alat-alat ukur MEKANIS untuk mengetahui tekanan zat cair atau gas.

Manometer pipa – U seperti **Gb.10a** bagian lengkungnya berupa transparan dan terisi air-raksa (H_g). Untuk tekanan yang kecil, zat cair pengisi dipakai alkohol, air atau TETRABROMO ETHANE (specific gravity = $d = 2,95$).

Jika kita mengukur tekanan pada (M) dan pipa penghubung antara bejana dan manometer terisi zat-cair yang kita ukur tekanannya, maka posisi

manometer terhadap (M) harus juga ikut diperhitungkan. Jadi, tekanan lebih (gauge pressure) pada titik (M) adalah :

$$p_M = g_1 h_1 + g_2 h_2$$



Gb.10

Modifikasi manometer pipa – U yang lain adalah salah-satu kaki pipa dibuat sangat lebar ukurannya seperti **Gb.10b** ; jenis ini umum dipergunakan karena kita hanya perlu membaca tinggi zat-cair pada satu-kakinya saja. Jika diameter kaki-lebar jauh lebih-besar dibanding diameter pipa-gelas, tinggi zat cair dalam kaki-lebar dapat dianggap = konstan.

Untuk gas bertekanan sangat kecil, ketelitian pembacaan skala-tekanan bisa dicapai dengan membuat 1 kakinya miring terhadap horizontal (INCLINED TUBE MANOMETERS). Panjang kolom zat-cair yang mengisi pipa berbanding-terbalik dengan SINUS-SUDUT-MIRING ; sehingga ketelitian pembacaan meningkat karenanya.

Beda tekanan antara 2 titik (lokasi aliran) diukur dengan MANOMETER DIFERENSIAL ; jenis yang paling sederhana adalah model pipa – U seperti **Gb.10c**. Jika manometer jenis itu (terisi H_g) dipakai mengukur beda tekanan antara (p_1) dan (p_2) dalam zat cair yang mempunyai berat jenis (g) yang mengisi penuh ke-dua kaki penghubungnya, maka :

$$p_1 - p_2 = h (g_{Hg} - g)$$

Untuk beda tekanan air, dipakai pipa – U terbalik yang bagian melengkungnya (terletak dibagian atas) terisi minyak (OIL) atau minyak tanah (KEROSENE) seperti **Gb.10d** ; sehingga terjadi hubungan :

$$p_1 - p_2 = h (g_2 - g_1)$$

+) MANOMETER JAMBAAN (WELL TYPE MANOMETER)

Bentuknya seperti **Gb.10e** ; dipakai untuk mengukur tekanan udara atau juga VACUUM antara (0,1 ÷ 0,5) atm.

Kalau dipakai alkohol atau air, kolom yang dibutuhkan menjadi sangat tinggi sehingga tidak praktis; sedangkan manometer terisi H_g pembacaannya sangat tidak teliti karena kolomnya sangat pendek. Manometer jamban ini biasa digunakan pada instalasi test WIND TUNNEL.

Jamban diisi air-raksa; tabung diisi alkohol, atau minyak-tanah atau fluida jenis lain. Kerosene (minyak tanah) dipakai karena sifatnya yang spesifik, yakni TIDAK MUDAH MENGUAP.

Dengan kebijaksanaan kita bisa memilih ukuran atau diameter-diameter tabung bagian atas / bawah (d_1 dan d_2) sehingga dapat dihitung berat-jenis efektif (g_{ef}).

$$p = H \cdot g_{ef}$$

dimana : p = tekanan / VACUUM yang kita ukur.

H = pembacaan manometer.

Harga (g_{ef}) dicari dari persamaan : $\rightarrow$ menurut **Gb.10e**.

$$H_0 g_k = h_0 \cdot g_{Hg}$$

yang menyatakan keseimbangan kolom air-raksa dan minyak tanah pada tekanan $p = p_{atm}$.

$$p + (H_0 - H + \Delta h) g_k = (h_0 + \Delta h) g_{Hg}$$

yang merupakan persamaan keseimbangan pada $p > p_{atm}$.

$$\text{Selain itu : } H \cdot d_1^2 = \Delta h \cdot d_2^2$$

Yang merupakan persamaan volume (volume minyak tanah yang bergeser dari pipa-atas d_1 menuju pipa-bawah d_2 = volume dari air-raksa yang tersedot). Dengan substitusi ke-3 persamaan-persamaan tersebut dan hasilnya diatur, didapat hubungan :

$$g_{ef} = \frac{d_1^2}{d_2^2} g_{Hg} + \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2} \right) g_k$$

Sebagai contoh, bila $d_2 = 2 d_1 \rightarrow g_{ef} = 0,25 \times 13600 + 0,75 \times 800$
 $= 4000 \text{ kg/m}^3$.

- +) Tekanan diatas (2 ÷ 3) atm harus kita ukur dengan MANOMETER MEKANIS jenis BOURDON TUBE atau jenis DIAPHRAGMA.

Prinsip kerjanya, adalah akibat defleksi yang terjadi apabila tabung melengkung diberi tekanan, demikian pula diaphragma dan type BELLOWS ; perubahan kelengkungannya ditransmisikan secara mekanik pada jarum petunjuk, sehingga peralatannya berupa plat skala, seperti jam.

Pada mesin pesawat terbang, manometer dipakai mengukur :

- Tekanan bahan-bakar masuk INJECTORS dari turbin gas.
- Tekanan bahan-bakar masuk karburator untuk yang menggunakan mesin-torak. *trans.by 738M.
- Tekanan minyak pelumas.

- +) Untuk pesawat udara, jenis manometer yang paling lumrah digunakan adalah jenis manometer sistem-listrik dan juga jenis-jenis mekanik.

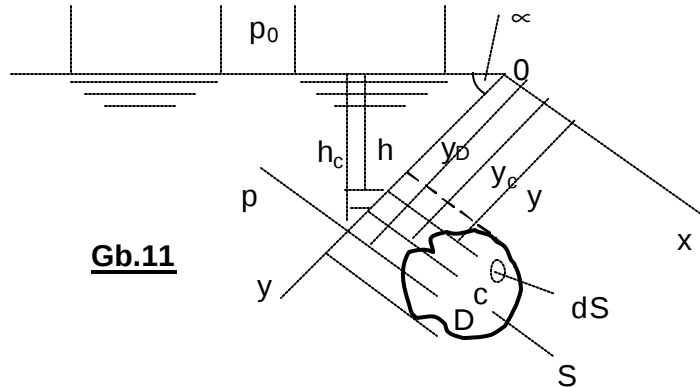
Prinsip kerja MANOMETER LISTRIK, menggunakan diaphragma sebagai sensor element, akibat tekanan fluida mengalami defleksi yang menggerakkan bagian dari SLIDE POTENTIOMETER.

2.4. TEKANAN FLUIDA PADA BIDANG-DATAR

Tekanan total pada bidang datar yang miring dengan sudut (α) terhadap bidang horisontal, seperti **Gb.11** ; dapat dihitung menggunakan persamaan hidrostatik, pers. (2.2).

Kita akan menghitung tekanan (p) pada suatu luasan (S).

Perpotongan antara bidang, terhadap bidang horisontal dipakai sebagai sumbu (x) ; sumbu (y) searah dengan bidang dan tegak-lurus (x).



Gb.11

Gaya pada suatu elemen luasan (dS) adalah :

$$dP = p \, dS = (p_0 + g h) \, dS = p_0 \, dS + h \, g \, dS$$

dimana : p_0 = tekanan pada bidang bebas,

h = kedalaman dari luasan (dS).

Gaya total (P) didapat dengan integrasi pers. tersebut untuk seluruh luasan (S) :

$$P = p_0 \int_S dS + g \int_S h \, dS = p_0 S + g \sin \alpha \int_S y \, dS$$

dimana : y = jarak antara pusat luasan (dS) terhadap sumbu (x).

Harga $\int_S y \, dS$ menurut teori mekanika, disebut momen dari (S)

terhadap sumbu (Ox) ; harganya = perkalian antara luasan dan jarak antara titik-berat luasan s/d garis sumbu (y_c).

Jadi,

$$\int_S y \, dS = y_c \cdot S$$

sehingga $\rightarrow P = p_0 \cdot S + g \sin \alpha y_c \cdot S = p_0 S + g h_c \cdot S$

dimana : h_c = kedalaman titik berat luasan ; dan akhirnya didapat :

$$P = (p_0 + g h_c) S = p_c \cdot S \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

Berarti, TEKANAN TOTAL SUATU FLUIDA PADA SUATU BIDANG DATAR ADALAH PERKALIAN ANTARA LUASAN DAN

TEKANAN STATIKNYA PADA TITIK-BERAT LUASAN TERSEBUT.

Jika tekanan (p_0) = tekanan atmosfer, GAUGE PRESSURE pada bidang-datar besarnya adalah :

$$P_g = h_c \cdot g \cdot S = p_{cg} \cdot S \quad \dots\dots\dots(2.6)^*$$

Note : Sesuai ketentuan dari fisika, istilah TEKANAN selalu dimaksudkan tekanan-absolut, kecuali ada pernyataan lain.–

BAGAIMANA MENENTUKAN LETAK TITIK PUSAT TEKANAN YANG MERUPAKAN TEMPAT BEKERJANYA GAYA RESULTAN PADA SUATU LUASAN ?

Karena tekanan (p_0) ditransmisikan secara merata pada seluruh luasan (S) maka resultante-nya jelas terletak pada titik berat dari luasan. Lokasi titik kerja GAUGE PRESSURE resultan (titik D) dapat dihitung berdasarkan rumus dasar mekanika yang sudah banyak dikenal. Momen resultan terhadap sumbu (Ox) merupakan jumlah momen dari gaya-gaya komponen terhadap sumbu tersebut :

$$P_g \cdot y_D = \int_S y \cdot dP_g$$

dimana : y_D = jarak antara titik bekerjanya gaya P_g terhadap sumbu (x).

Apabila P_g dan dP_g dinyatakan dengan (y_c) dan (y) ; maka y_D :

$$y_D = \frac{g \sin \alpha \int_S y^2 dS}{g \sin \alpha \cdot y_c \cdot S} = \frac{I_x}{y_c \cdot S}$$

dimana: $I_x = \int_S y^2 dS$ = momen inersia luasan (S) terhadap (Ox)

Jika $I_x = I_{x0} + y_c^2 S$ dimana I_{x0} = momen inersia luasan (S)

terhadap garis sumbunya sendiri yang sejajar terhadap (Ox).

Maka : $y_D = y_c + \frac{I_{x0}}{y_c \cdot S} \quad \dots\dots\dots(2.7)$

Jadi, tempat bekerjanya gaya P_g terletak dibawah titik-berat-luasan, selisihnya :

$$\Delta y = \frac{I_{x0}}{y_c \cdot S}$$

Apabila (p_0) = tekanan atmosfer dan bekerja pada kedua sisi dari bidang maka titik D = titik pusat tekanan.

Jika $p_0 > p_{atm}$ maka titik pusat tekanan dicari berdasarkan teori mekanika, sebagai titik bekerjanya resultante antara gaya (P_g) dan ($p_0 \cdot S$).

Apabila ($p_0 \cdot S$) > (P_g) maka titik pusat tekanan lebih dekat ketitik berat luasan (S).

Singkatan dari istilah : Titik pusat tekanan = TPT

Titik berat luasan = TBL

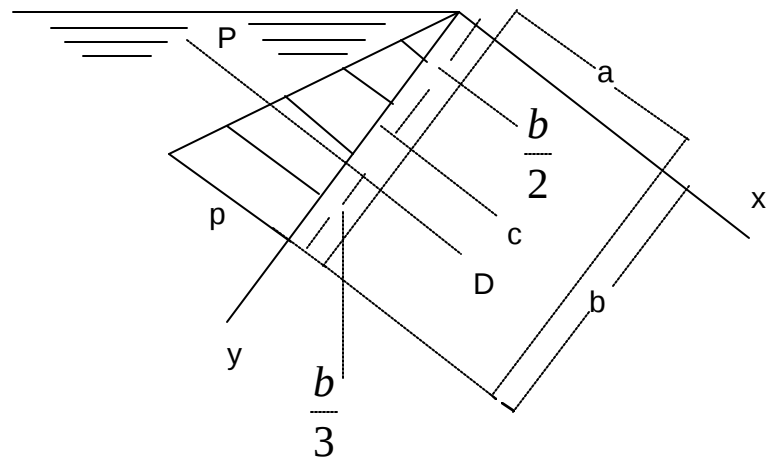
Agar koordinat (x_D) dari TPT dapat ditentukan maka persamaan momen kita terapkan terhadap sumbu (y).

Untuk kasus spesifik, dimana bidangnya berbentuk empat-persegi panjang yang salah satu sisinya terletak pada permukaan zat-cair maka posisi TPT dapat dicari dengan mudah. Kita tahu bahwa diagram tekanan dari gaya yang bekerja pada bidang tersebut (tenggelam) adalah berbentuk segi-3 seperti **Gb.12** dengan titik-berat terletak = $\frac{1}{3} \times$ (tingginya) dihitung dari dasar maka lokasi TPT juga terletak $\frac{1}{3}$ (b) dari dasar.

Dalam teknik mesin kasus yang umum kita jumpai adalah, menghitung tekanan fluida pada dinding datar, seperti misalnya pada torak dari mesin-mesin hidrolik beserta berbagai peralatannya (lihat contoh soal).

Disini tekanan (p_0) demikian besarnya, se-

hingga dapat dianggap, bahwa tempat bekerjanya TPT berimpit dengan posisi dari TBL.



Gb.12

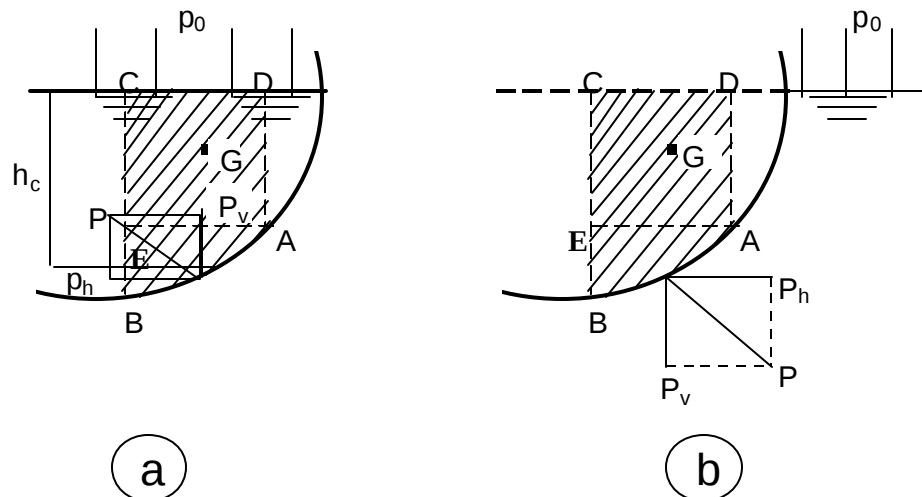
2.5. TEKANAN FLUIDA TERHADAP PERMUKAAN MELENGKUNG, GAYA-APUNG & FLOATASI

Kasus-kasus yang menyangkut tekanan fluida terhadap bidang dengan bentuk sembarang memang agak sulit dianalisa karena harus dihitung 3 komponen dari pada gaya-total dan juga 3 momen.

Syukurlah kita tidak terlalu sering bertemu dengan kasus model itu. Biasanya, model permukaannya adalah bentuk silindris atau bentuk-bulat yang mempunyai bidang simetri tegak.

Untuk kasus seperti ini analisa tekanan dapat disederhanakan dengan mencari resultante-nya terhadap bidang-tegak tersebut.

Salah satu contohnya adalah seperti **Gb.13**.



Gb.13

Misalkan bidang melengkung (AB) dengan rusuk atau garis-lukis (GENERATOR OF THE BODY) tegak lurus bidang gambar. Maka akan ada 2 kemungkinan : a). Zat cair terletak diatas bidang.

b). Zat cair terletak dibawah bidang.

Kasus a).

Volume zat cair ABCD dengan AB merupakan permukaan yang melengkung. BC dan AD adalah bidang-bidang yang tegak; CD adalah permukaan bebas. Kita harus meninjau persamaan-persamaan keseimbangan dalam arah datar dan arah tegak.

Jika besarnya gaya dorong yang diberikan zat cair pada AB adalah sebesar P ; berarti pula bidang AB memberikan gaya sebesar P kepada zat cair.

Pada **Gb.13** terlihat gaya tersebut beserta komponen-komponen tegak dan datar yakni P_h dan P_v .

Persyaratan untuk arah-tegak :

$$P_v = p_0 \cdot S_h + G \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana : p_0 = tekanan pada permukaan bebas.

S_h = proyeksi luasan (AB) terhadap bidang datar.

G = berat zat cair dalam volume yang kita tinjau.

Persyaratan keseimbangan dalam arah datar.

Gaya dorong zat cair dalam volume yang ditinjau terhadap luasan EC dan AD adalah imbang karena sama-besar, hanya berlawanan arah; maka yang perlu dibahas hanyalah tekanan yang bekerja pada luasan BE yang merupakan proyeksi-tegak (S_v) dari luasan AB :

$$P_h = S_v \cdot g \cdot h_c + p_0 \cdot S_v \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Pers. (2.8) dan (2.9) memberikan komponen-komponen vertikal dan datar dari gaya-total P yakni :

$$P = \sqrt{P_v^2 + P_h^2} \quad \dots\dots\dots(2.10).$$

Kasus b).

Besarnya tekanan hidrostatik pada semua-titik diatas bidang (AB) sama-besar dengan kasus a) hanya tandanya yang berlawanan.

Gaya-gaya P_v dan P_h dihitung dengan persamaan pers. (2.8) dan (2.9) ; tapi tandanya yang dibalik. Seperti halnya pada kasus a), G disini adalah berat zat cair dengan volume ABCD (walaupun sebenarnya untuk kasus-b). volume tersebut kosong.

Titik pusat tekanan TPT untuk bidang melengkung dapat ditentukan dengan gampang jika besar dan arah gaya-gaya P_v & P_h telah diketahui, atau jika letak TPT untuk proyeksi tegak dari luasan telah diketahui, demikian pula titik-berat dari volume ABCD.

Kasusnya akan menjadi lebih sederhana lagi apabila bidang lengkung itu berbentuk lingkaran, karena arah gaya resultante berpotongan dengan garis sumbu permukaan (AB) yang telah kita ketahui dari sifatnya bahwa setiap tekanan elementer (dP) selalu berarah tegak-lurus terhadap bidang, jadi, searah dengan radiusnya.

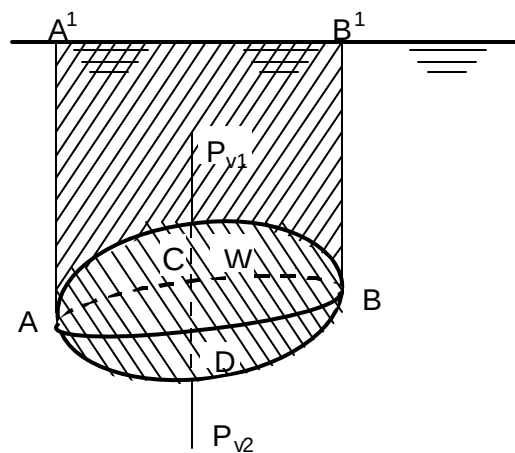
Cara tadi (bidang silindris) juga berlaku untuk bidang berbentuk bola. Gaya resultante akan melalui titik berat luasan TBL yang terletak pada bidang simetri yang tegak.

Metode tadi, mencari komponen vertikal gaya-tekanan dari bidang melengkung dapat pula kita terapkan untuk membuktikan keampuhan dari HUKUM ARCHIMEDES.

Misalkan suatu benda dengan volume (W) dicelupkan dalam zat-cair, seperti **Gb.14**. Garis lukisnya (GENERATOR) yang terbentang disekeliling bendanya dan ber-arah vertikal akan membagi benda tersebut menjadi 2 bagian, yakni ACB dan ABD.

Komponen vertikal P_{v1} dari tekanan (GAUGE PRESSURE) yang dialami oleh permukaan atas benda (yakni diatas AB) arahnya ke-bawah, besarnya sama dengan berat zat cair dengan volume AA' B' BCA.

Komponen vertikal P_{v2} dari tekanan yang dialami oleh bagian bawah benda, ber-arah ke-atas, besarnya sama dengan berat zat cair yang mengisi volume AA' B' BDA.



Gb.14

Tekanan resultante yang dialami benda akan berarah vertikal yang besarnya sama dengan berat zat cair yang mengisi selisih kedua bentuk itu, yakni berat dari zat cair yang volumenya sama dengan volume benda tersebut; jadi :

$$P_b = P_{v2} - P_{v1} = G_{ABCD} = W \cdot g$$

Pernyataan tersebut dinamakan HUKUM ARCHIMEDES yang bunyinya :

SUATU BENDA YANG TERCELUP DALAM SUATU FLUIDA AKAN KEHILANGAN BERATNYA SEBANYAK BERAT FLUIDA YANG DIPINDAHKAN OLEHNYA.

*trans.by 738M.

Hukum tersebut juga berlaku untuk benda yang hanya tercelup sebagian (mengapung). Gaya P_b disebut GAYA APUNG yang titik kerjanya

berimpit dengan titik berat fluida yang dipindahkan; titik tersebut diberi istilah titik apung (CENTRE OF BOUYANCY).

Berdasarkan perbandingan berat benda (G) terhadap gaya-apung P_b maka ada 3 kemungkinan :

- +) . Bila $G > P_b$ maka benda akan tenggelam.
- +) . Bila $G < P_b$ maka benda naik dan terangkat (melayang).
- +) . Bila $G = P_b$ maka benda mengapung (FLOAT).

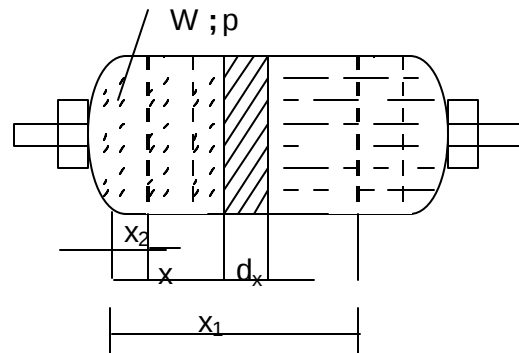
Persyaratan lainnya agar benda yang mengapung bisa stabil; selain $G = P_b$ adalah TOTAL DARI MO MEN = 0 yang akan tercapai apabila titik berat benda dan titik-apung keduanya terletak pada sebuah bidang vertikal. Untuk penggunaannya kita lihat beberapa contoh.

CONTOH 1 :

Diantara sistem hidrolik pesawat udara terdapat GAS LOADED ACCUMULATOR untuk menyimpan energi. Salah satu modelnya berupa silinder dengan torak; pada satu-sisi berisi udara bertekanan (p), sisi lain terisi fluida (cairan hidrolik) yang dimasukkan kedalamnya oleh pompa, seperti **Gb.15**.

Model yang lain berupa reservoir bola, terisi DIAPHRAGMA ELASTIS yang memisahkan antara fluida dan gas bertekanan seperti **Gb.18**.

Energi tersimpan karena zat cair mendesak torak kesebelah-kiri sehingga memampatkan udara yang beratnya (W). Energi tersebut akan dilepaskan jika udara memuai.



Gb.15

Tentukan jumlah energi yang tersimpan jika tekanan besarnya :

$p_2 = 150 \text{ kg/Cm}^2 = \text{LOAD PRESSURE}$ apabila bisa dikurangi s/d

$p_1 = 75 \text{ kg/Cm}^2$ dengan volume udara $W_1 = 3 \text{ liter}$.

(3) = pompa tangan yang dipakai memberi tekanan pada silinder tekan (6) sehingga menimbulkan gaya-tekan keatas (P) pada selongsong kempa (Lifting ram) (7).

(5) = katup isap dan (4) = katup tekan.

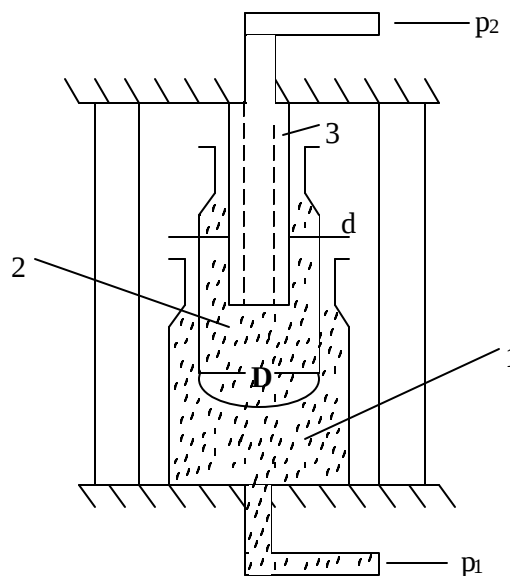
Tentukan gaya P apabila R = 20 Kg ; a/b = 1/9 dan D/d = 10.

Jawab :
$$P = R \frac{a+b}{a} \left(\frac{D}{d} \right)^2 = 20 \times 10 \times 100 = 20.000 \text{ Kg.}$$

CONTOH 3 :

HYDRAULIC PRESSURE INTENSIFIER seperti **Gb.17** dipakai untuk meningkatkan tekanan (p_1) yang dihasilkan oleh pompa atau dari ACCUMULATOR. Tekanan (p_1) masuk dalam silinder (1) dan menggerakkan selongsong berongga (2) yang beratnya = G dan diameternya = d yang ditengahnya dilobangi untuk mengeluarkan fluida yang tekanannya telah berlipat-ganda = p_2 .

Jika G = 300 Kg ; D = 125 mm ; $p_1 = 100 \text{ Kg/Cm}^2$; d = 50 mm serta gesekannya diabaikan, tentukan besarnya tekanan (p_2).



Gb.17

Jawab :

Dari persamaan keseimbangan untuk selongsong berlobang (2)
maka :

$$\frac{p D^2}{4} p_1 = \frac{p d^2}{4} p_2 + G \rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2 - \frac{4 G}{p d^2}$$

$$p_2 = 100 \left(\frac{125}{50} \right)^2 - \frac{4 \times 300}{p \cdot 5^2} = 610 \text{ Kg/Cm}^2.$$

CONTOH 4 :

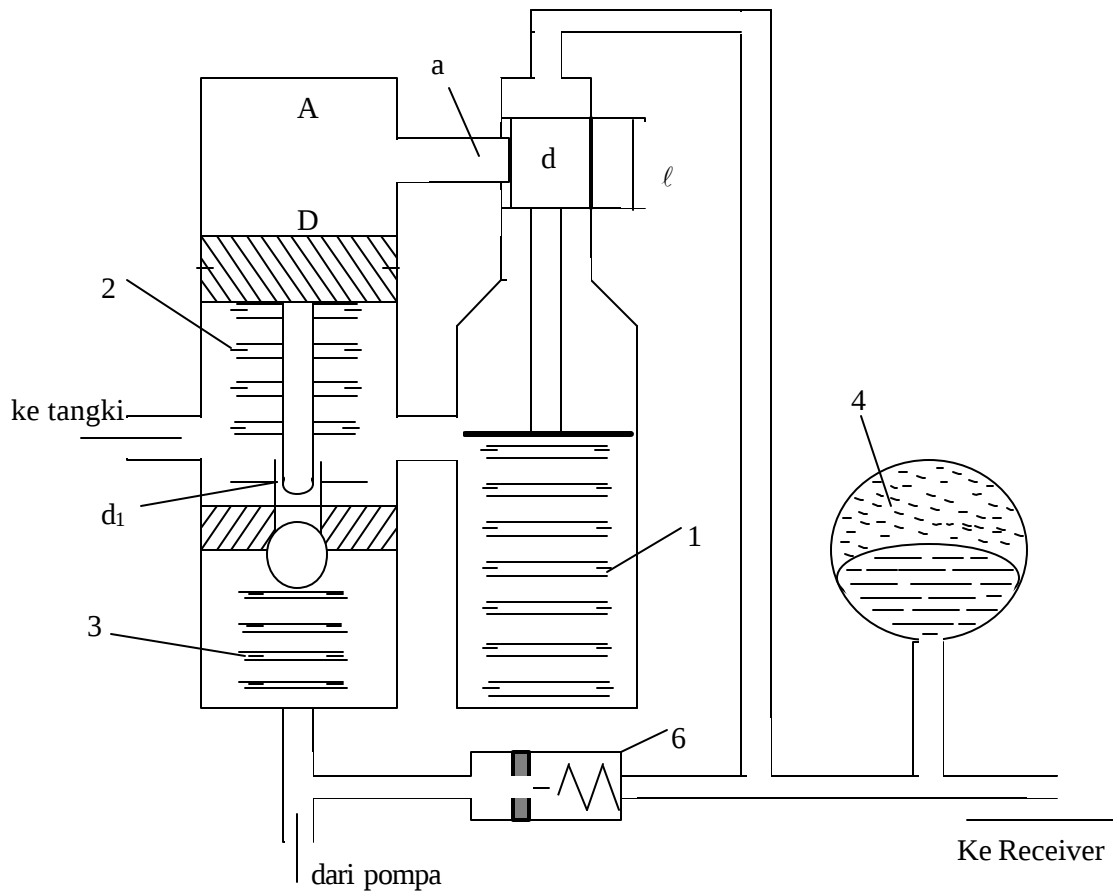
Sebuah komponen penting yang harus ada dalam sistem hidrolis pesawat udara adalah **AUTOMATIC RELIEF VALVE** seperti **Gb.18** ; yang kerjanya sebagai berikut :

Jika fluida didalam sistem mengalami **MACET** (tidak bekerja = **IDLING**) maka pompa akan mengisi **ACCUMULATOR** (4) sampai mencapai tekanan maximum ($p_{\max}$) sehingga torak (d) tertekan kebawah dan mengalirkan fluida ke (A) melalui saluran (a).

Tekanan ($p_{\max}$) ini menekan torak (D) kebawah sehingga batang-toraknya membuka **KATUP – BOLA** sehingga saluran-tekan pompa berhubungan dengan tangki pengumpul. Pompa akan terus mengalirkan fluidanya kembali ke-tangki pengumpul selama tekanan dalam sistem masih diatas ($p_{\min}$) ; kemudian torak (d) berangsur-angsur bergeser keatas akibat gaya pegas, membuka saluran (a) dan fluida di (A) mengalir-balik ketangki pengumpul. Jika ini telah tercapai maka pegas (2) menekan torak (D) keatas, **KATUP BOLA** menutup, sehingga pompa mengalihkan tekanannya kepada konsumen (**RECEIVER**).

Tentukan karakteristik pegas-pegas (1) dan (2) jika :

$$p_{\max} = 140 \text{ atm}; \quad p_{\min} = 80 \text{ atm}; \quad d = 8 \text{ mm}; \quad \ell = 16 \text{ mm}; \\ D = 10 \text{ mm}; \quad a = 2 \text{ mm} \quad \text{dan} \quad d_1 = 6 \text{ mm}.$$



Gb.18

Jawab :

Tentukan beban maximum dan beban minimum untuk pegas (1).

$$P_{\max} = p_{\max} \frac{\pi}{4} (d)^2 = 140 \frac{\pi}{4} (0.8)^2 = 70,4 \text{ Kg.}$$

$$P_{\min} = p_{\min} \frac{\pi}{4} (d)^2 = 80 \frac{\pi}{4} (0.8)^2 = 40,2 \text{ Kg.}$$

Lendutan dari pegas : $h_{\ell} = \ell - a = 16 - 2 = 14 \text{ mm.}$

Kemudian kita hitung kekakuan dari pegas (ℓ) : *trans by 738M

$$\frac{P_{\max} - P_{\min}}{h_{\ell}} = \frac{70,4 - 40,2}{14} = 2,16 \text{ Kg/mm.}$$

Agar katup bola dapat terbuka, maka gaya pada torak harus mampu mengatasi kekuatan pegas (2), gesekan torak + packing, tekanan yang bekerja pada katup-bola dan gaya dari pegas (3).

Bila dianggap : $\rightarrow$. Gaya gesek = $0,1 \times$ gaya akibat tekanan ;

$\rightarrow$. Gaya dari pegas $\cong 3 Q = 30 \text{ Kg ;}$

Maka kita dapatkan persamaan untuk menentukan tegangan maximum dari pegas (2) ; $F_{\max}$; yakni :

$$p_{\max} \frac{p D^2}{4} 0,9 = F_{\max} + p_{\max} \frac{p D_1^2}{4} + Q$$

sehingga : $F_{\max} = 140 \times 0,25 p (1^2 \times 0,9 - 0,6^2) - 30 = 30 \text{ Kg}$.

Disamping itu gaya dari pegas (2) harus mampu untuk membalikkan gerak torak (D) melawan gesekan packing dari torak saat tanpa beban.

Bila dianggap gaya gesek tersebut sebesar 10 Kg maka :

$$F_{\min} = 10 \text{ Kg}.$$

Kekakuan pegas (2) yang dibutuhkan untuk menggeser torak keatas sejauh $h_2 = 10 \text{ mm}$ adalah :

$$\frac{F_{\max} - F_{\min}}{h_2} = \frac{30 - 10}{10} = 2 \text{ Kg/mm}.$$

Bab III

KEDUDUKAN RELATIF ZAT CAIR

3.1. KONSEP DASAR

Bab. sebelumnya hanya membahas tentang imbangnya zat cair yang mengalami hanya satu gaya, yakni gaya berat. Peristiwa demikian, contohnya seperti zat cair yang diam didalam bejana yang juga tidak bergerak, atau sedang mengalir secara UNIFORM mengikuti garis lurus, relatif terhadap bumi.

Apabila bejana bergerak tidak-lurus dan tidak UNIFORM maka semua partikel zat cair dalam bejana, selain mengalami gaya gravitasi juga gaya tambahan akibat dari akselerasinya.

Gaya tambahan tersebut berusaha menggeser zat cair yang ada dalam bejana, sedemikian, apabila gerakanya UNIFORM terhadap waktu maka zat cair akan menempati posisinya yang baru yang seimbang terhadap dinding bejana. Keadaan seperti itulah yang dimaksud sebagai KEDUDUKAN RELATIF (RELATIVE REST).

Permukaan-bebas, seperti halnya bidang-batas lainnya yang mempunyai tekanan sama, maka zat cair yang berada dalam KEDUDUKAN-RELATIF konturnya sangat berbeda dibanding bidang bertekanan-sama didalam bejana diam, yang mestinya horizontal.

Agar bisa menentukan bagaimana bentuk sebenarnya dari permukaan-bebas zat cair yang mengalami KEDUDUKAN RELATIF maka sifat-sifat dasar dari semua bidang bertekanan-sama harus ikut pula dipertimbangkan lagi; sebagai contohnya : Gaya resultante (RESULTANT BODY FORCE) selalu tegak-lurus terhadap bidang bertekanan-sama.

Seandainya gaya resultante ini arahnya menyudut terhadap bidang bertekanan-sama, maka komponen tangensialnya akan berusaha menggeser partikel-partikel zat cair searah bidang tersebut. Akan tetapi untuk yang

mengalami KEDUDUKAN RELATIF partikel-partikel zat cairnya hanya diam-diam saja, baik terhadap dinding bejana dan pula terhadap partikel lainnya. Berarti, yang paling mungkin adalah :

“ARAH GAYA RESULTANTE JUGA TEGAK–LURUS TERHADAP MUKA–BEBAS DAN BIDANG–BIDANG LAIN YANG MEMPUNYAI TEKANAN–SAMA”.

Selain itu, tidak mungkin terjadi 2 bidang yang bertekanan-sama akan saling berpotongan, karena zat cair pada titik-potong tersebut akan mengalami 2 tekanan.

Ada 2 sifat penting yang akan kita bahas karena merupakan ciri khas dari cairan dengan kedudukan relatif :

- 1). Bejana bergerak lurus dengan akselerasi yang merata.
- 2). Bejana berputar UNIFORM terhadap sumbu tegak.

3.2. ZAT CAIR DALAM BEJANA YANG BERGERAK LURUS DENGAN AKSELERASI MERATA

Kita amati zat cair menempati sebuah bejana, misalnya bahan-bakar dalam tangki pesawat udara, bergerak mengikuti garis-lurus dengan akselerasi merata = (a).

Gaya (BODY FORCE) resultante pada zat cair merupakan jumlah vektor dari gaya akibat akselerasi yang arahnya berlawanan dengan (a) dan gaya berat; seperti **Gb.19**.

Untuk tiap satuan massa kita pakai simbol (j) untuk gaya-resultante; maka :

$$\bar{j} = \bar{a} + \bar{g}$$

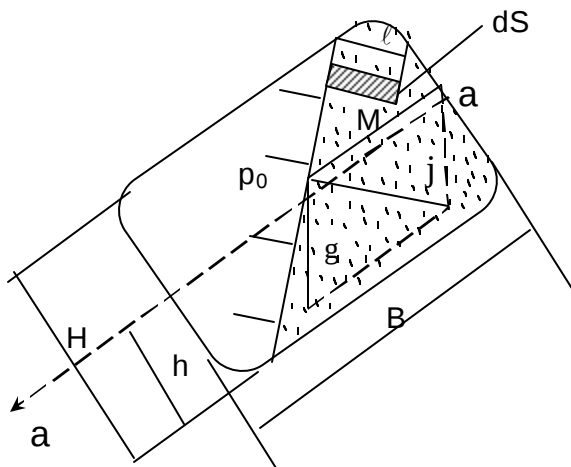
Jadi resultante gaya-gaya yang dialami partikel-partikel zat cair mempunyai arah yang paralel; bidang-bidang yang bertekanan-sama posisinya tegak-lurus kepada gaya tersebut. Semua bidang bertekanan sama (termasuk muka-bebasnya) merupakan bidang-bidang yang paralel. Sudut kemiringan terhadap bidang horisontal tergantung pada arah gaya (j).

Untuk menentukan posisi muka-bebas zat cair dalam bejana yang bergerak dengan akselerasi merata dalam arah garis-lurus, persyaratan lainnya yang masih diperlukan adalah VOLUME.

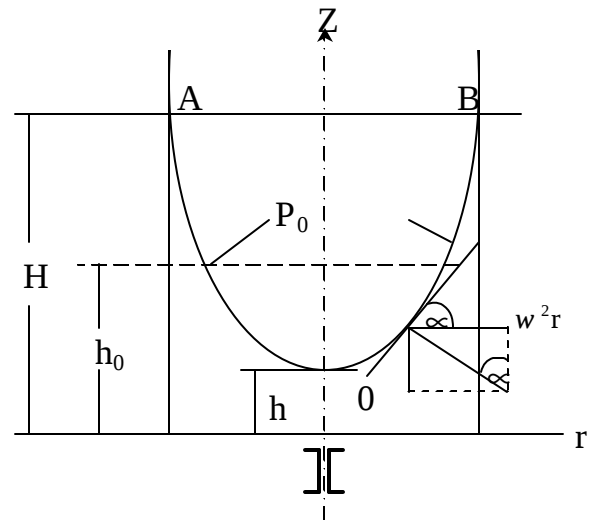
Volume zat cair dalam bejana harus diketahui dari ukuran bejana : B ; H ; dan tinggi permukaan awal zat cair (h).

Untuk menentukan tekanan pada sembarang titik dalam zat cair, telah dibahas dalam Bab. HIDROSTATIKA.

Kita tinjau titik sembarang dalam fluida (M) dengan luasan (dS) yang paralel terhadap muka-bebas dan kita buat tabung silindris zat cair yang tegak-lurus terhadap FREE SURFACE dengan alas = dS .



Gb.19



Gb.20

Rumus keseimbangan volume zat cair tersebut adalah :

$$p \, dS = p_0 \, dS + j \, r \, \ell \, dS$$

Suku terakhir dalam rumus tersebut adalah BODY FORCE TOTAL ; ℓ = jarak antara (M) dan muka-bebas.

Setelah (dS) dihilangkan :

$$p = p_0 + j \, r \, \ell \quad \dots\dots\dots(x)$$

Hal-hal khusus : Bila $a = 0$; $j = g$ maka (x) menjadi rumus hidrostatika.

Untuk menyelidiki pengaruh gaya akselerasi dalam teknik penerbangan, kita harus tahu istilah : g – LOADING.

Beban $g - \text{LOAD}$ bisa berarah tangensial (n_x) atau tegak-lurus (n_y). Untuk terbang lurus maka $g - \text{LOAD}$ adalah sebesar :

$$n_x = \frac{a}{g}$$

Pembebanan normal (NORMAL $g - \text{LOADING}$) terjadi apabila pesawat udara terbang dengan lintasan melengkung (DIVING ; NOSING UP ; BANKING) dan rumusnya :

$$n_y = \frac{a + g}{g} = \frac{v^2}{R g} + 1$$

dimana : v = Kecepatan terbang.

R = Radius kelengkungan dari lintasan.

Kasus dalam contoh diatas adalah dengan beban $g - \text{LOAD TANGENSIAL}$ tapi untuk memperkecil dimensi tangki bahan-bakar pesawat udara dibandingkan terhadap radius (R) maka diambil pertimbangan, yakni dengan memanfaatkan NORMAL $g - \text{LOADING}$; besarnya akselerasi (a) dihitung dari rumus :

$$a = \frac{v^2}{R}$$

Perlu dicatat bahwa untuk pesawat yang sedang terbang beban $g - \text{LOAD NORMAL}$ jauh lebih besar dibanding $g - \text{LOAD TANGENSIAL}$; perbandingannya adalah ($8 \div 10$).

Jika $g - \text{LOAD}$ yang berharga besar dan jumlah bahan bakar dalam tangki hanya sedikit; maka pergeseran dari permukaan bahan-bakar malah menjauhi MULUT PIPA HISAP sehingga aliran bahan bakar terputus karenanya. Untuk mencegah kasus seperti itulah maka disekitar MULUT PIPA HISAP dipasang alat-pengaman khusus.

3.3. ZAT CAIR DALAM BEJANA YANG BERPUTAR UNIFORM

Kita lihat bejana silindris terbuka terisi cairan yang berputar terhadap sumbu vertikal; kecepatan sudut = ω . Berangsur-angsur zat cair akan memperoleh

kecepatan sama-dengan bejananya sehingga muka-bebas-nya berbentuk CEKUNG akibat perputaran; seperti **Gb.20**.

Yang dialami fluida (untuk tiap satuan massa) adalah gaya berat (g) dan gaya sentrifugal ($w^2 r$).

Akibat komponen yang kedua, BODY FORCE RESULTANTE (j) bertambah sebanding radius, sedangkan inklinasi terhadap horisontal berkurang (arahnya semakin tegak).

Body force resultante tersebut selalu tegak lurus terhadap muka-bebas, sehingga inklinasi muka-bebas tersebut bertambah, sesuai radiusnya.

Sekarang kita menurunkan persamaan dari kurve (AOB) dalam koordinat (z – r) yang berpusat pada titik center alas bejana.

Karena gaya (j) selalu tegak-lurus (AOB) maka dari analisa gambar kita dapatkan :

$$\text{tg } \infty = \frac{dz}{dr} = \frac{w^2 r}{g}$$

atau :

$$dz = \frac{w^2 r}{g} dr$$

Setelah di-integral didapatkan :

$$z = \frac{w^2 r^2}{2 g} + C$$

Berdasarkan batasan-batasan yang telah disebutkan diatas, bahwa pada perpotongan kurve (AOB) dengan sumbu-putar $\rightarrow C = h$ maka :

$$z = h + \frac{w^2 r^2}{2 g} \quad \dots\dots\dots(y)$$

Jadi, kurve (AOB) adalah parabolis dan muka-bebas-nya berupa bidang paraboloid.

Aplikasi persamaan (y) :

- . Menentukan posisi muka-bebas dalam bejana; sebagai contoh tinggi kenaikan maximum zat cair (H) dan,
- . Elevasi dari titik puncak paraboloid pada kecepatan putar tertentu (w).

Harus diingat bahwa volume zat cair saat diam sama dengan saat berputar.

- Kasus yang umum adalah jika bejana berisi zat cair berputar terhadap sumbu horisontal atau sumbu sembarang dengan kecepatan (w) yang demikian besarnya, sehingga pengaruh gaya-berat dapat diabaikan dibandingkan gaya sentrifugal.

Gradient tekanan dalam zat cair dicari dari rumus-keseimbangan untuk volume elementer yang luas alasnya = dS dan tinggi = dr dalam arah radiusnya (r) seperti **Gb.21**.

Volume tersebut mengalami gaya-gaya akibat tekanan dan sentrifugal.

Misalkan (p) adalah tekanan pada pusat luasan (dS); r = jarak antara (dS) dan sumbu perputaran; ($p + dp$) = tekanan pada permukaan yang satunya yang letaknya sejauh ($r + dr$) dari sumbu.

Persamaan keseimbangan dalam arah radiusnya untuk volume tersebut adalah :

$$p \, dS - (p + dp) \, dS + r \, w^2 \, r \, dr \, dS = 0$$

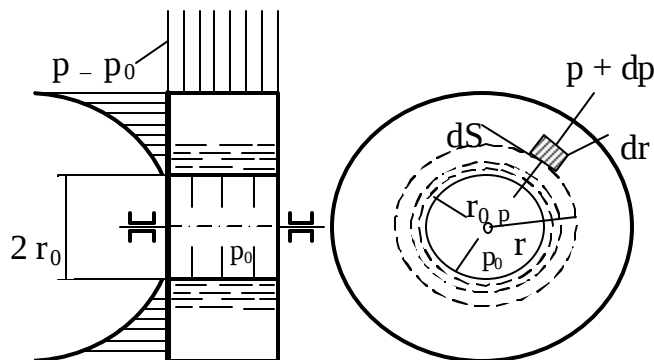
atau
$$dp = r \, w^2 \, r \, dr.$$

Setelah di-integralkan :

$$p = r \, w^2 \, \frac{r^2}{2} + C$$

Konstante (C) dicari dari persyaratan batas integral, pada $r = r_0 \rightarrow p = p_0$ sehingga :

$$C = p_0 - r \, w^2 \, \frac{r_0^2}{2}$$



Gb.21

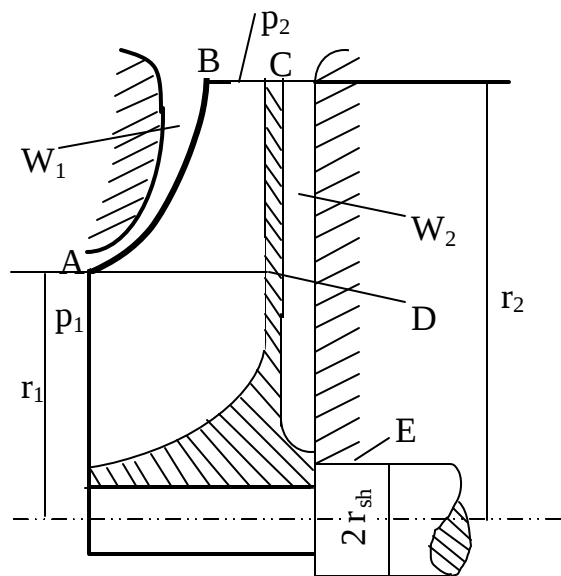
Akhirnya didapat hubungan antara (p) dan (r) :

$$p = p_0 + r \frac{w^2}{2} (r^2 - r_0^2) \dots\dots\dots(z)$$

Jadi, bentuk-bentuk bidang bertekanan-sama adalah berupa tabung-tabung silindris dengan garis sumbunya berimpit dengan sumbu perputaran zat cair. Apabila bejana tak terisi penuh, bentuk muka-bebas-nya (yang juga merupakan salah satu bidang bertekanan-sama) berbentuk silindris dengan radius (r_0) dan tekanan = (p_0).

Kasus yang sering kita jumpai adalah menghitung gaya-dorong (THRUST) yang ditimbulkan zat cair yang berputar bersama bejananya terhadap bidang yang tegak-lurus terhadap sumbu perputaran; atau mungkin luasan yang ditinjau hanya berupa ring, seperti pada celah antara IMPELLER & CASING pompa sentrifugal.

*trans.by 738M.



Gb.22

Gaya dorong terhadap ring elementer yang radiusnya (r) dan lebar (dr) ; menurut persamaan (z) adalah :

$$dP = p dS = \left[p_0 + r \frac{w^2}{2} (r^2 - r_0^2) \right] 2 p r dr$$

Bila diintegralkan maka didapat P (THRUST).

Jika perputarannya sangat tinggi maka gaya dorong yang dialami dinding juga menjadi sangat besar. Prinsip ini diterapkan untuk operasi KOPLING GESEK (jenis khusus) yang membutuhkan tekanan NORMAL YANG SANGAT BESAR agar torsi bisa ditransmisikan dari satu poros kepada poros lainnya.

Prinsip ini juga dipakai untuk menghitung tekanan AXIAL yang ditimbulkan zat c air terhadap IMPELLER POMPA SENTRIFUGAL.

Rumus-rumus diatas dapat diturunkan dengan integral dari persamaan diferensial keseimbangan fluida. Lihat Bab. Persamaan diferensial.

Contoh :

Hitung gaya AXIAL pada IMPELLER POMPA SENTRIFUGAL apabila ruang (W1) dan (W2) antara IMPELLER dan CASING kecepatan-sudut zat cairnya hanya ($1/2 \times$) kecepatan IMPELLER dan kebocoran didaerah (A) sangat kecil sehingga dapat diabaikan. LAY OUT seperti **Gb.22.**

Tekanan buang $p_2 = 38 \text{ atm}$; tekanan hisap $= p_1 = 0$; $n = 16500 \text{ RPM}$.
Dimensi IMPELLER : $r_2 = 50 \text{ mm}$; $r_1 = 25 \text{ mm}$; $r_{sh} = 12 \text{ mm}$; berat-jenis zat cair $\rho = 918 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

Jawab : Pada daerah (AB) = daerah (CD).

Yang berbeda hanyalah tekanan AXIAL pada bidang (DE) yang berupa cincin yang dibatasi (r_1) dan (r_{sh}).

Gaya yang timbul akan berarah kekiri (ke-sisi-hisap);
yang besarnya :

$$P = 2\rho \int_{r_{sh}}^{r_1} p r dr$$

Dengan menerapkan rumus (z) dan substitusi :

p_2 untuk p_0 ; dan r_2 untuk r_0

maka :

$$p = p_2 - \rho \frac{w_f^2}{2g} \left(r_2^2 - r^2 \right)$$

dimana : w_f = kecepatan sudut zat cair yang berputar.

$$\begin{aligned}
\text{Jadi: } P &= 2p \int_{r_{sh}}^{r_1} \left[p_2 - g \frac{w_f}{2g} \left(r_2^2 - r^2 \right) \right] r \, dr \\
&= p \left(r_1^2 - r_{sh}^2 \right) \left[p_2 - g \frac{w_f}{2g} \left(r_2^2 - \frac{r_1^2 + r_{sh}^2}{2} \right) \right] \\
P &= p \left(2,5^2 - 1,2^2 \right) \left[38 - 0,000918 \left(\frac{p \times 16500}{2 \times 30} \right)^2 \right. \\
&\quad \left. \times \frac{1}{2 \times 981} \times \left(5^2 - \frac{2,5^2 + 1,2^2}{2} \right) \right] = 460 \text{ Kg.}
\end{aligned}$$

Bab IV

RUMUS – RUMUS DASAR

4.1. DEFINISI & RUMUS

Untuk fluida yang bergerak kita mulai dengan teori aliran Fluida-ideal. Untuk itu kita perkenalkan beberapa istilah-istilah :

Fluida Ideal : Fluida dengan $m = 0$. Sifatnya seperti fluida riil yang tidak bergerak (REAL MOTIONLESS) karena parameter yang ada hanya tekanan (COMPRESSIVE STRAIN).

Jadi, dalam fluida ideal yang sedang mengalir, tekanan tegak-lurus terhadap permukaan (bidang-batas dan mengarah kedalam) ; pada setiap titik dalam fluida, tekanan mengarah kesegala arah dan sama-besar.

Steady Flow : Termasuk jenis aliran dimana parameternya pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu.

Tekanan (p) dan kecepatan alir (v) hanya berubah karena posisi partikel fluida.

$$p = f_1 (x; y; z) \quad \text{dan} \quad v = f_2 (x; y; z).$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial v_x}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial v_y}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial v_z}{\partial t} = 0$$

Partikel fluida mengalir sepanjang garis arus dan tak berubah terhadap waktu (t).

Unsteady Flow : Aliran dimana tekanan & kecepatan berubah terhadap posisi & waktu; sehingga :

$$p = F_1 (x; y; z; t). \quad v = F_2 (x; y; z; t).$$

Partikel yang lewat suatu titik membentuk lintasan yang selalu berubah.

Contoh : Steady Flow : $\rightarrow$. Fluida keluar dari bejana dengan permukaan fluida = konstan.

$\rightarrow$. Saluran yang dilayani pompa sentrifugal dengan $n = \text{konstan} \ \& \ \text{uniform}$.

Unsteady Flow : $\rightarrow$. Fluida yang keluar lewat lobang pada dasar bejana.

$\rightarrow$. Aliran pada pipa masuk & buang pompa dari jenis RECIPROCATING.

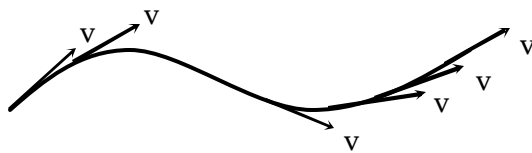
Cara analisa yang banyak diterapkan adalah dengan menganggap aliran bersifat STEADY karena jauh lebih gampang & sederhana.

Stream line : Garis dalam fluida yang mengalir; garis singgung padanya pada sembarang titik menyatakan arah dari vektor kecepatan pada titik tersebut. **Gb.23.**

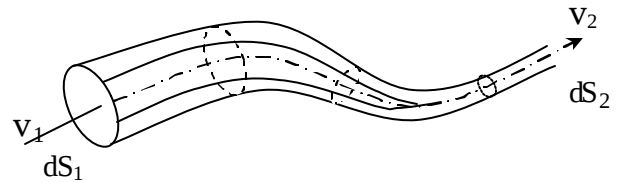
Pada steady flow garis arus (stream line) maupun lintasan (path lines) selalu berimpit dan tak berubah terhadap waktu.

Stream tube : Ruang tubular yang dibatasi oleh permukaan yang terdiri dari garis arus; seperti **Gb.24.**

Bila stream tube dikontraksi menjadi $\rightarrow 0$ maka terjadi stream lines.



Gb.23



Gb.24

Pada setiap titik dipermukaan stream tube, vektor kecepatan ($\vec{v}$) menyinggung terhadap permukaan.

Tak ada komponen $\perp$ dari $\vec{v}$; tak ada zat cair yang menembus stream tube kecuali pada penampang-penampang ujungnya.

Stream tube ini terbungkus oleh selubung yang tak tembus cairan sehingga ia dianggap sebagai arus-elementer.

Selain itu stream tube dianggap terbentuk dari sekelompok stream tubes elementer; karena kecepatan masing-masing TUBES tidak sama, maka stream tubes SLIP antara satu dengan lainnya tetapi tak sampai tercampur (semrawut).

Penampang arus : Penampang dalam aliran yang $\perp$ garis arus.

Stream lines kita anggap paralel (walaupun slip) sehingga penampang-arus berupa bidang-datar.

4.2. DEBIT & RUMUS KONTINUITAS

Debit (RATE OF DISCHARGE) : Jumlah fluida yang mengalir tiap satuan waktu melalui suatu penampang.

Dibedakan :
 Q = Volume Rate ($\text{m}^3 / \text{detik}$)
 G = Weight Rate (Kg / detik)
 M = Massa Rate ($\text{Kg} \cdot \text{detik} / \text{m}$)

Asumsi : Penampang lintang dari suatu stream tubes elementer dianggap sangat kecil $\rightarrow$ kecepatan (v) dianggap uniform maka :

$$dQ = v \, dS ; \text{dimana } dS = \text{luas penampang aliran.}$$

$$dG = g \, dQ.$$

$$dM = r \, dQ = r \, v \, dS.$$

Kenyataan : Kecepatan (v) tidak uniform pada penampang aliran; untuk mudahnya debit dihitung dengan kecepatan rata-rata pada suatu penampang.

Jadi,

$$Q = \int_S v \cdot dS \quad \text{dan} \quad v_m = \frac{Q}{S} \quad \text{sehingga :}$$

$$\rightarrow Q = v_m \cdot S \quad \text{*trans.by 738M.}$$

Asumsi : Fluida tak ada yang menembus dinding stream tube.

Hukum Kekekalan Massa bila diterapkan untuk :

- . Fluida incompressible
- . Steady Flow adalah sbb :

$$dQ = v_1 \cdot dS_1 = v_2 \cdot dS_2 = \text{konstan sepanjang stream tubes.}$$

Hubungan ini dinamakan RUMUS KONTINUITAS.

Untuk stream tube dengan penampang tertentu dan kecepatan dianggap merata, maka :

$$Q = v_{m1} \cdot S_1 = v_{m2} \cdot S_2 = \text{Konstan sepanjang stream tubes.}$$

Jadi, terdapat hubungan antara kecepatan alir dan luas penampang

$$\frac{v_{m1}}{v_{m2}} = \frac{S_2}{S_1}$$

Catatan : RUMUS KONTINUITAS merupakan bentuk khas dari hukum kekekalan massa yang diterapkan untuk aliran fluida.

4.3. RUMUS BERNOULLI

Asumsi : –. ideal liquid.

- . aliran berupa STREAM TUBE.
- . aliran STEADY FLOW.
- . gaya yang bekerja hanya gaya -berat (GRAVITY).

Rumus ini menyatakan hubungan antara tekanan (p) terhadap kecepatan alir (v).

Obyek : STREAM TUBE antara penampang 1 & 2 ; seperti **Gb.25**.

Pada 1 $\rightarrow$ dS_1 ; v_1 ; p_1 ; z_1 .

Pada 2 $\rightarrow$ dS_2 ; v_2 ; p_2 ; z_2 .

Untuk selang waktu (dt) gaya luar akan menggeser volume zat cair dari batas (1 – 2) ke (1' – 2'). Teori mekanika bila diterapkan untuk fluida tersebut, menyatakan :

USAHA DARI GAYA LUAR DIPAKAI UNTUK MERUBAH ENERGI KINETIK BENDA.

Yang termasuk gaya luar adalah :

- . Gaya normal akibat tekanan.
- . Gaya berat.

Selama waktu (dt) ;

- + . Usaha akibat tekanan pada (1) bertanda (+) karena searah dengan DISPLACEMENT = $p_1 \cdot dS_1 \times v_1 \cdot dt = p_1 \cdot dS_1 \cdot v_1 \cdot dt$.
- + . Pada penampang (2) bertanda (–) karena berlawanan terhadap DISPLACEMENT = $-p_2 \cdot dS_2 \cdot v_2 \cdot dt$.
- + . Pada selubung STREAM TUBE, usaha = 0 ; karena gaya $\perp$ DISPLACEMENT atau perpindahan.

Jadi, usaha akibat gaya tekanan : $p_1 \cdot v_1 \cdot dS_1 \cdot dt - p_2 \cdot v_2 \cdot dS_2 \cdot dt$.

- + . Usaha akibat gaya berat dihitung dari selisih energi-potensial atau POSITION ENERGY.

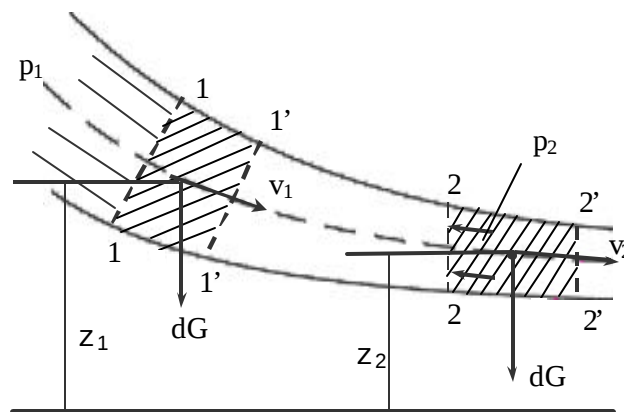
Dari rumus Kontinuitas untuk volume (1 – 2) s/d (1' – 2') :

$$dG = g \cdot v_1 \cdot dS_1 \cdot dt = g \cdot v_2 \cdot dS_2 \cdot dt.$$

Jadi, usaha akibat gaya berat : $(z_1 - z_2) dG$.

- + . Untuk mencari perubahan energi-kinetik selama selang-waktu (dt) maka massa (1 – 2) mempunyai energi kinetik (E_k) harus dikurangi dari yang dimiliki massa (1' – 2') sehingga terdapat massa-massa (2 – 2') dan (1 – 1') yang beratnya = dG ; sehingga :

$$\left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right) \frac{dG}{2g} = \Delta E_k.$$



Gb.25

Maka sesuai teori mekanika untuk massa fluida (dG) berlaku :

$$p_1 \cdot dS_1 \cdot v_1 \cdot dt - p_2 \cdot dS_2 \cdot v_2 \cdot dt + (z_1 - z_2) dG = \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) \frac{dG}{2g}$$

sehingga :

$$\frac{p_1}{g} - \frac{p_2}{g} + z_1 - z_2 = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}$$

atau :

$$\frac{p_1}{g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

yang merupakan RUMUS BERNOULLI untuk fluida ideal (1738) ;

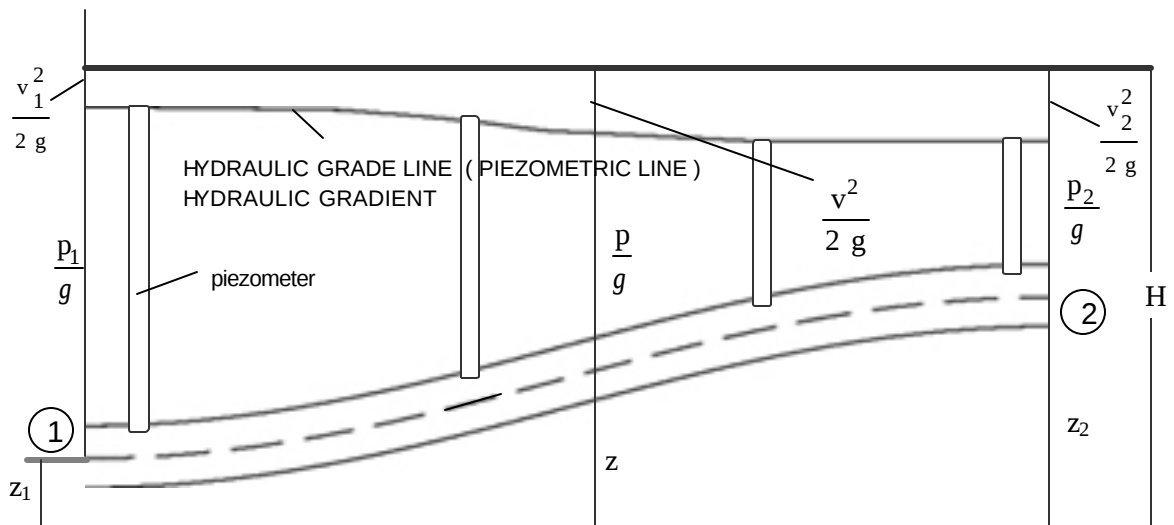
dimana : z = elevasi, GEODATIC, POTENTIAL HEAD.

p / g = pressure Head atau STATIC HEAD.

$\frac{v^2}{2g}$ = VELOCITY HEAD.

Jadi TOTAL HEAD (H) konstan sepanjang STREAM TUBE ; sehingga :

$$H = \frac{p}{g} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{konstan.}$$



Gb.26

Interpretasi.

a). HYDRAULIC GRADIENT (PIEZOMETRIC LINE) : garis yang menghubungkan p / g ; merupakan tempat kedudukan permukaan fluida didalam semua piezometer sepanjang STREAM TUBE.

b). Dari RUMUS BERNOULLI dan KONTINUITAS maka :

–. Penampang mengecil $S << \rightarrow v >>$ dan $p <<$

–. Sebaliknya $S >> \rightarrow v <<$ dan $p >>$

c). Secara fisika dan energi; kita telah mengenal istilah ENERGI

SPESIFIK $e = \frac{E}{G}$. Berarti fluida memiliki 3 energi spesifik

yang berlainan, yakni :

z = energi potensial spesifik akibat posisi & gravitasi,
karena energi spesifik $\frac{\Delta G \cdot z}{\Delta G} = z$.

$\frac{p}{g}$ = energi tekanan spesifik dalam fluida yang mengalir

karena, bila diberi tekanan = p akan naik setinggi

$\frac{p}{g}$; energinya $\frac{p}{g} \Delta G$; sehingga harga

spesifiknya = $\frac{\Delta G \cdot p/g}{\Delta G} = \frac{p}{g}$.

$z + p / g$ = Spesifik dari energi potensial total.

$\frac{v^2}{2g}$ = Energi spesifik kinetik karena didapat dari

hubungan : $\frac{\Delta G}{g} \frac{v^2}{2} : \Delta G = \frac{v^2}{2g}$.

$H = z + \frac{p}{g} + \frac{v^2}{2g}$ = TOTAL HEAD dari fluida yang

mengalir ; energi spesifik total fluida.

Jadi : HUKUM BERNOULLI = HUKUM KEKEKALAN ENERGI MEKANIS DIDALAM FLUIDA IDEAL.

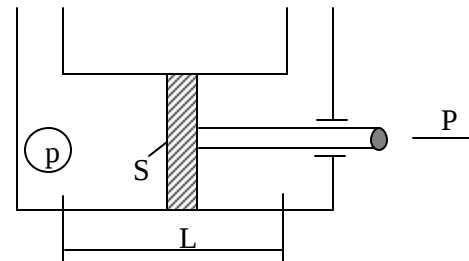
- d). Dalam zat cair ideal, energi dapat dikonversikan ke-bentuk lain tapi jumlah totalnya tetap.

CONTOH : RUMUS BERNOULLI

Energi dikonversikan menjadi usaha mekanik dengan tabung hidrolik.

USAHA / SATUAN BERAT LIKUIDA $\triangleq$ PRESSURE HEAD.

Pertanyaan : Bagaimana pembuktiannya ?



Gb.27

Bukti : Bila luas penampang = S ; Langkah torak = L ;
 Tekanan sebelah kiri = p (gauge) ;
 Tekanan sebelah kanan = 0 (gauge)
 Maka gaya total akibat tekanan = P dipakai mengatasi beban pada piston-rod.
 Gaya : $P = p \cdot S$; Usaha : $E = p \cdot S \cdot L$
 Jumlah fluida yang masuk : $G = S \cdot L \cdot g$

$$\text{Usaha / satuan berat : } \ell = \frac{E}{G} = \frac{p \cdot S \cdot L}{g \cdot S \cdot L} = \frac{p}{g}$$

RUMUS BERNOULLI juga sering dituliskan dalam bentuk yang lain; yakni mengalikan dengan (g) maka :

$$p_1 + z_1 g + g \frac{v_1^2}{2g} = p_2 + z_2 g + g \frac{v_2^2}{2g} \quad \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$$

Karena tiap suku berdimensi tekanan, maka dinamakan :

$z g$ = Weight Pressure.

p = Tekanan statik (atau hanya tekanan).

$$g \frac{v^2}{2g} = r \frac{v^2}{2} = \text{Tekanan dinamik.}$$

Dari Bab. FLUIDA IDEAL ; PERSAMAAN DIFERENSIAL DAN INTEGRASINYA ; kita juga bisa mendapatkan persamaan atau RUMUS BERNOULLI dengan mengintegrasikan persamaan diferensial gerakan fluida ideal :

$$g \cdot dz + \frac{1}{\rho} dp + d \frac{v^2}{2} = 0.$$

atau
$$dz + \frac{1}{g} dp + d \frac{v^2}{2g} = 0.$$

Karena $g = \text{Konstan} \rightarrow d \left(z + \frac{p}{g} + \frac{v^2}{2g} \right) = 0 \rightarrow \text{Stream lines.}$

Sehingga untuk STREAM TUBE $\rightarrow$ $z + \frac{p}{g} + \frac{v^2}{2g} = \text{Konstan}$

- Asumsi :
- 1). Fluida ideal.
 - 2). Koordinat 1–dimensi.
 - 3). Saluran & CHANNEL stasioner.

4.4. RUMUS BERNOULLI UNTUK FLUIDA RIIL

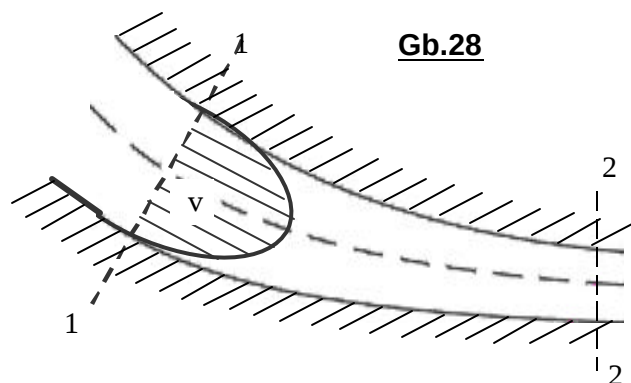
Untuk beralih dari STREAM TUBE fluida ideal kepada fluida riil (arus fluida yang mempunyai viskositet) dengan dimensi tertentu dan dibatasi oleh TUBE (WALL) maka harus kita perhitungkan pengaruh kekentalan atau viskositet.

- I. Pada suatu penampang, distribusi kecepatan tidak merata.
- II. Adanya kerugian energi atau kerugian HEAD.

PENGARUH I

Apabila zat cair kental mengalir terhadap bidang padat (misalnya pipa saluran) aliran terhambat karena viskositet dan juga gaya-tarik adhesi molekuler antara zat cair & permukaan; sehingga

kecepatan yang maximum adalah pada garis sumbu dari arus. Makin dekat



Gb.28

ke-permukaan, kecepatan makin berkurang, akhirnya $v = 0$ pada permukaan bidang / saluran.

Akibat peristiwa demikian itu, profil kecepatan pada suatu penampang saluran berupa parabola.

Adanya variasi kecepatan berarti, lapisan zat cair mengalami SLIP antara satu dengan lainnya sehingga timbul :

- . Regangan geser tangensial. *trans.by 738M
- . Tegangan akibat gesekan.
- . Dalam zat cair kental, partikel-partikel bergerak ngawur (meluntir & berpusar) sehingga terjadi kehilangan energi. Akibatnya, energi-total (TOTAL HEAD) sepanjang arus fluida kental tidak konstan jumlahnya, seperti halnya untuk fluida ideal. Energinya berangsur-angsur ter-makan (DISSIPATED) untuk mengatasi tahanan dan kerugian sepanjang alirannya.

Karena distribusi kecepatan yang bentuknya tidak merata inilah, maka untuk memudahkan cerita kita perkenalkan istilah-istilah :

- + . Kecepatan alir rata-rata pada suatu penampang lintang = v_m .
- + . Energi spesifik rata-rata.

Sebelum menurunkan RUMUS BERNOULLI kita ambil beberapa asumsi :

Hukum hidrostatis berlaku juga untuk penampang lintang, bahwa PIEZOMETRIC HEAD = konstan untuk suatu penampang

$\frac{p}{\rho g} + z = \text{konstan}$ (untuk seluruh bagian & titik pada suatu penampang).

Oleh sebab itu setiap STREAM TUBE dalam zat cair yang mengalir akan memberikan tekanannya satu terhadap lainnya, fenomenanya seperti yang berlaku untuk zat cair yang dalam keadaan diam.

Keadaannya memang demikian; dapat kita buktikan secara teoritis terutama untuk garis-arus yang paralel melintasi suatu penampang.

Penampang aliran seperti itulah yang kita jadikan dasar analisa.

Istilah lainnya yang juga perlu kita ketahui adalah DAYA DARI SUATU ALIRAN ; yang merupakan energi-total aliran yang terbawa lewat suatu

penampang, per-satuan waktu.

Karena antara penampang satu terhadap lainnya energi partikel fluida bervariasi maka yang kita tinjau pertama kali adalah DAYA-ELEMENTER ; yakni daya daripada suatu STREAM TUBE yang sangat kecil dimensinya. Daya tersebut kita nyatakan sebagai energi spesifik total fluida pada suatu titik dengan debit diferensial.

$$dN = H \cdot g \cdot dQ = \left(z + \frac{p}{g} + \frac{v^2}{2g} \right) g \cdot v \cdot dS$$

Untuk seluruh arus, daya, dapat dihitung dengan integral persamaan tersebut untuk seluruh luasan penampang (S) :

$$N = g \int_S \left(z + \frac{p}{g} + \frac{v^2}{2g} \right) v \cdot dS$$

Berdasarkan asumsi-asumsi tadi maka :

$$N = g \left(z + \frac{p}{g} \right) \int_S v \cdot dS + \frac{g}{2g} \int_S v^3 \cdot dS$$

Harga rata-rata energi spesifik total pada suatu penampang, dihitung dengan membagi DAYA-TOTAL-ARUS dengan debitnya.

Jadi :

$$H_m = \frac{N}{Q \cdot g} = z + \frac{p}{g} + \frac{1}{2g \cdot Q} \int_S v^3 \cdot dS$$

Apabila suku terakhir kita modifikasi dengan $\left(\frac{\frac{v_m^2}{2}}{v_m} \right)$ maka :

$$\rightarrow H_m = z + \frac{p}{g} + \frac{\int_S v^3 \cdot dS}{\frac{v_m^3}{2} \cdot S} \cdot \frac{v_m^2}{2g} = z + \frac{p}{g} + \infty \frac{v_m^2}{2g} \dots\dots\dots(x)$$

DISINI : ∞ = Koefisien tanpa satuan untuk memperhitungkan distribusi kecepatan yang NON UNIFORM ; besarnya adalah :

$$\infty = \frac{\int_S v^3 \cdot dS}{\frac{v_m^3}{2} \cdot S}$$

Interpretasi : Apabila pembilang dan penyebut kita kalikan dengan $(r/2)$; maka (∞) dapat kita interpretasikan sebagai perbandingan antara energi-kinetik sebenarnya dalam arus fluida pada suatu penampang terhadap energi kinetiknya apabila distribusi kecepatan dianggap berlangsung uniform (merata).

Karena profil distribusi kecepatan umumnya berupa parabola seperti pada **Gb.28**; maka $\infty \geq 1$.

$\infty = 1$ apabila profil tersebut berupa garis lurus.

$\infty > 1$ terlihat dari rumus :

$$\infty = \frac{\int_S v^3 \cdot dS}{v_m^3 \cdot S} = \frac{\int_S (v_m + \Delta v)^3 dS}{v_m^3 \cdot S}$$

yang bila diselesaikan untuk pembilangnya terdapat 4

suku yang selalu lebih besar dari harga $\left(v_m^3 \cdot S \right)$.

PENGARUH II.

Untuk 2 penampang lintang dimana masing-masing mempunyai HEAD–TOTAL–RATA–RATA H_{m1} dan H_{m2} maka :

$$H_{m1} = H_{m2} + \sum h$$

Dimana : $\sum h$ = Seluruh kerugian energi (HEAD LOSSES) sepanjang arus antara penampang-penampang tersebut.

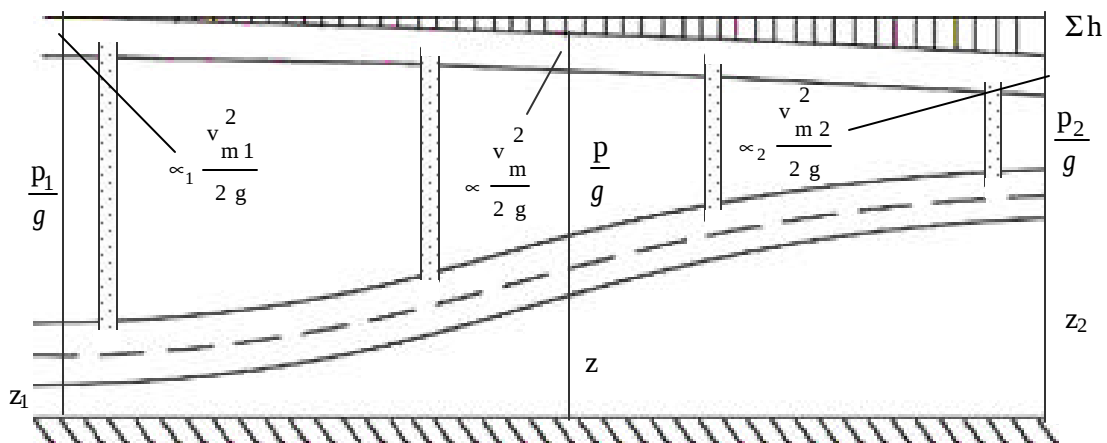
Dengan menerapkan rumus (x) maka kita bisa menyatakan RUMUS BERNOULLI UNTUK FLUIDA RIIL sebagai berikut :

$$z_1 + \frac{p_1}{g} + \infty_1 \frac{v_{m1}^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{g} + \infty_2 \frac{v_{m2}^2}{2g} + \sum h$$

Perbedaannya dengan BERNOULLI FLUIDA IDEAL adalah :

- . Adanya suku yang menyatakan kerugian energi (HEAD LOSSES).
- . Koefisien yang memperhitungkan distribusi kecepatan NON UNIFORM (∞).
- . Pada setiap penampang yang kita tuliskan adalah kecepatan rata-rata (v_m).

Bentuk grafik dari persamaan diatas sebenarnya sama seperti persamaan energi fluida ideal, hanya-saja, kerugian HEAD harus juga disertakan. Kerugian tersebut semakin bertambah besar sepanjang salurannya. Jadi, kelainannya terlihat seperti pada **Gb.29**.



Gb.29

- + . Persamaan BERNOULLI fluida ideal menggambarkan HUKUM KEKALKAN ENERGI MEKANIS.
- + . Sedangkan untuk fluida riil menyatakan PERSAMAAN KESEIMBANGAN ENERGI karena kerugian energi juga ikut dipertimbangkan.

Energi yang tersisih tersebut sebenarnya tidak hilang; ia berubah menjadi bentuk energi lainnya, yakni energi-panas yang menyebabkan temperatur zat cair meningkat.

Masih ada istilah lainnya :

- 1). ENERGY GRADIENT : perbandingan antara penurunan ENERGI-TOTAL-RATA-RATA terhadap panjang saluran atau jarak antara penampang.

2). HYDRAULIC GRADIENT : perubahan ENERGI-POTENSIAL per-SATUAN PANJANG SALURAN.

Untuk sebuah pipa dengan diameter-tetap, demikian pula profil kecepatannya-tetap, maka kedua GRADIENT tersebut akan sama-bentuknya; maksudnya, kedua GRADIENT tersebut akan selalu sejajar.

4.5. KERUGIAN HEAD

Tinjauan Umum.

Kerugian energi atau istilah umumnya dalam mekanika fluida KERUGIAN HEAD (HEAD LOSSES) tergantung pada :

- . Bentuk, ukuran dan kekasaran saluran.
- . Kecepatan fluida.
- . Kekentalan atau viskositet.
- . Tapi sama sekali tak dipengaruhi oleh tekanan absolut (p_{ab}) dari fluida.

Faktor viskositet sendiri merupakan penyebab-utama dari semua kerugian-head, sehingga hampir selalu diikuti-sertakan dalam perhitungan-perhitungan kerugian energi. Khusus tentang kasus ini akan dibahas tersendiri dalam akhir Bab. ini.

Pengalaman menyatakan bahwa dalam banyak kasus-kasus, kerugian HEAD hampir sebanding dengan KWADRAT KECEPATAN ALIR.

Sejak dulu pernyataan tersebut telah dituliskan dengan rumus :

$$h = x \frac{v_m^2}{2g} \quad \rightarrow \text{kerugian HEAD.}$$

$$p_\ell = g h = x \frac{v_m^2}{2g} g \quad \rightarrow \text{kerugian tekanan.}$$

Yang perlu kita ingat, bahwa kedua rumus itu selalu mengandung (berisi) koefisien pembanding (koefisien kerugian = z) dan juga VELOCITY HEAD seperti pada RUMUS BERNOULLI.

Terlihat, koefisien kerugian merupakan perbandingan antara HEAD-LOSSES terhadap VELOCITY HEAD.

Head losses umumnya digolongkan sebagai :

- . LOCAL LOSSES atau (FORM LOSSES atau MINOR LOSSES).
- . FRICTION LOSSES atau (MAJOR LOSSES).

LOCAL LOSSES disebabkan oleh alat-alat pelengkap-lokal atau yang diberi istilah TAHANAN HIDROLIS seperti misalnya, perubahan-bentuk saluran atau perubahan-ukurannya. Apabila fluida mengalir melalui saluran dengan alat-alat tersebut, kecepatannya akan berubah sehingga bisa terbentuk pusaran (EDDIES).

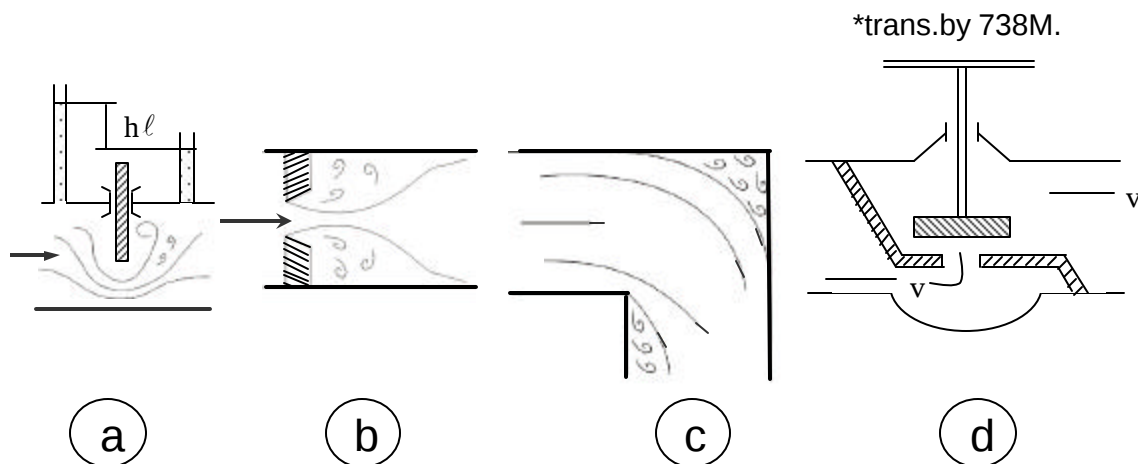
Contoh dari beberapa alat-alat pelengkap-lokal adalah : **Gb.30.**

- a). GATE. b). ORIFICE. c). ELBOW. d). VALVE.

Besarnya kerugian-lokal kita tentukan dari rumus umum :

WEISBACH :
$$h_{\ell} = z_{\ell} \frac{v^2}{2g} \quad \text{atau} \quad p_{\ell} = z_{\ell} \frac{v^2}{2g} g$$

dimana : v = Kecepatan rata-rata pada penampang pipa yang kita hitung kerugian lokal-nya. Index (m) hanya digunakan terhadap kecepatan apabila timbul pengertian yang kabur.



Gb.30

Apabila diameter saluran bervariasi, jadi juga kecepatan alir fluida berubah sepanjang pipa, maka untuk dasar perhitungan kita gunakan kecepatan yang

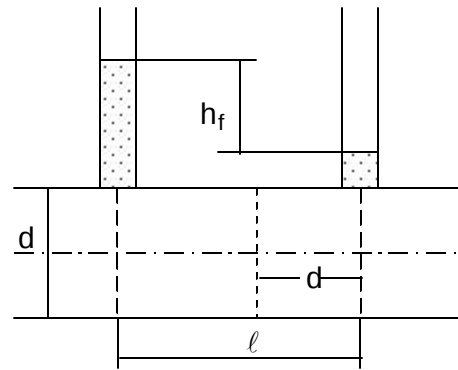
tertinggi (kecepatan melalui penampang yang tersempit). Setiap alat pelengkap lokal mempunyai koefisien tersendiri $= z_\ell$ yang harganya dianggap konstan.

Jenis kerugian yang kedua (FRICTION & MAJOR LOSSES) adalah kerugian energi yang terjadi pada pipa-lurus dengan luas penampang yang tetap sehingga aliran dianggap uniform. Harganya bertambah sesuai dengan panjang salurannya.

Kerugian seperti ini disebabkan oleh gesekan-dalam daripada fluida, oleh sebab itu bisa timbul baik pada pipa-kasar maupun pipa-halus.

Besarnya kerugian gesek dihitung dari rumus-umum :

$$h_f = z_f \frac{v^2}{2g}$$



Gb.31

Biasanya harga (h_f) diperhitungkan

berdasarkan panjang relatif pipa (ℓ / d) ; sehingga z_f sudah menyatakan harga spesifik.

Caranya : kita tinjau pipa dengan panjang = diameternya dan koefisien kerugian sebesar (1). Maka untuk seluruh panjang pipa yang = ℓ dan diameter = d koefisien kerugian akan meningkat (ℓ / d) lebih besar, atau :

$$z_f = l \frac{\ell}{d}$$

Bila disubstitusikan dalam rumus umum didapat :

DARCY :
$$h_f = l \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \text{atau} \quad p_f = l \frac{\ell}{d} \frac{v^2}{2g} g$$

dimana : l = Koefisien tanpa satuan yang disebut sebagai FAKTOR GESEKAN merupakan koefisien pembanding antara kerugian gesek terhadap perkalian antara panjang relatif pipa dan VELOCITY HEAD.

Dari bidang ilmu fisika (l) dapat kita interpretasikan dan penurunannya seperti langkah-langkah berikut, dengan menganggap kondisi aliran UNIFORM melalui suatu pipa bulat dengan panjang = ℓ dan diameter = d

sedemikian sehingga jumlah ke-dua gaya yang dialami volume fluida didalamnya menjadi $= 0$; jadi gaya akibat tekanan + gaya akibat gesekan $= 0$; atau :

$$\frac{p}{4} d^2 p_f - p d \ell t_0 = 0$$

dimana : t_0 = tegangan geser pada dinding pipa.

Dengan memasukkan besaran-besaran tersebut kedalam rumus DARCY maka didapatkan :

$$l = \frac{4 t_0}{g \frac{v^2}{2g}}$$

Berarti faktor gesekan (l) selalu proporsional terhadap perbandingan antara tegangan-geser pada dinding pipa dan tekanan-dinamik yang diperhitungkan berdasarkan kecepatan alir rata-rata.

Kerugian HEAD pada saluran tertutup (pipa) dimana tidak ada permukaan bebas sebenarnya disebabkan karena energi-potensial-spesifik atau $(z + p / \rho g)$ yang harganya semakin menurun sepanjang aliran. Apabila energi-kinetik-spesifiknya atau $(v^2 / 2g)$ juga berubah untuk suatu debit tertentu, maka kasus seperti ini tidak disebabkan oleh kerugian energi tetapi oleh berubahnya luas penampang saluran karena energi kinetik hanya merupakan fungsi dari kecepatan aliran; atau hanya dipengaruhi oleh debit dan luas-penampang saluran :

$$v = \frac{Q}{S}$$

Akibatnya, untuk pipa dengan penampang konstan maka kecepatan aliran dan juga energi-kinetik spesifik zat cair juga berharga konstan, tak dipengaruhi oleh gangguan-gangguan lokal maupun besarnya kerugian HEAD. Untuk kasus seperti ini, kerugian HEAD yang terjadi dapat diukur dari selisih permukaan zat-cair dalam 2 buah tabung PIEZOMETER TERBUKA ; seperti **Gb.30** dan **Gb.31**.

Mengitung HEAD LOSSES punya peran dominan dalam pelajaran hidrolika (dan juga mekanika fluida) ; maka cara-cara perhitungannya akan diterapkan untuk berbagai alat-alat khusus.

4.6. APLIKASI RUMUS BERNOULLI

Contoh : Rumus ini adalah pernyataan dari pada hukum-dasar dari STEADY FLOW.

1). VENTURI METER.

Digunakan untuk mengukur debit dalam pipa.

Terdiri dari saluran dengan :

- . Lubang masuk konis.
- . Tekak (NOZZLE).
- . Saluran memancar (DIFFUSER).

Pada lubang konis kecepatan alir naik sehingga tekanan turun.

Perbedaan tekanan diukur dengan 2 buah tabung piezometer atau menggunakan U – TUBE DIFFERENTIAL GAUGE. Cara menghitung debit adalah sebagai berikut :

Misalkan pada daerah (1) yang terletak didepan NOZZLE parameter aliran :

Kecepatan = v_1 ; Tekanan = p_1 ;

Luas penampang = S_1 .

Dan pada daerah (2) yakni pada NOZZLE parameternya adalah :

Kecepatan = v_2 ; Tekanan = p_2 ; Luas penampang = S_2 .

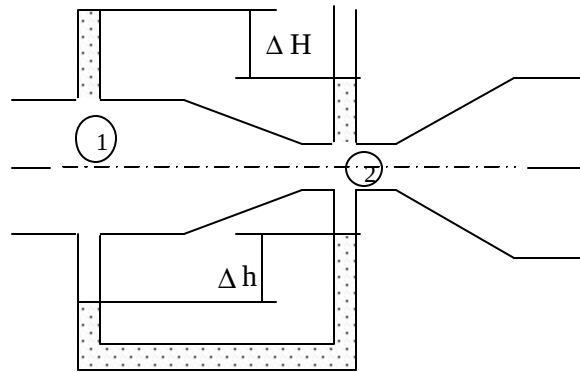
Selisih permukaan antara piezometer (1) dan (2) adalah = ΔH .

Dengan asumsi : Distribusi kecepatan pada kedua daerah tersebut uniform, maka dari persamaan-persamaan :

1). BERNOULLI :

$$\frac{p_1}{g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_\ell$$

2). Kontinuitas : $v_1 S_1 = v_2 S_2$



Gb.32

dimana : h_ℓ = kerugian HEAD antara daerah (1) dan (2).

$$= z \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{dan} \quad \frac{p_1 - p_2}{g} = \Delta H.$$

Selanjutnya kita dapat menghitung salah satu kecepatan alir, misalnya (v_2) ; yakni :

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \Delta H}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 + z}}$$

dan debitnya : $Q = v_2 S_2 = S_2 \sqrt{\frac{2g \Delta H}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 + z}}$

atau disederhanakan : $Q = C \sqrt{\Delta H} \dots\dots\dots(y)$

dimana harga konstante C adalah :

$$C = S_2 \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 + z}} \dots\dots\dots(z)$$

= Konstante untuk suatu instalasi alat ukur.

Apabila harga C telah diketahui, dengan mengamati pembacaan piezometer kita dapat menghitung debit Q sesaat.

Konstante C dapat dihitung secara teoritis; akan lebih teliti lagi bila dihitung secara experimen sekaligus membuat kalibrasi pada meter alat ukur.

Terlihat hubungan antara ΔH dan Q adalah parabolik.

Apabila harga-harga (Q^2) kita pasang pada sumbu absis maka grafik dari pada (ΔH) akan berbentuk garis lurus.

Sebagai pengganti tabung-piezometer kita sering pula menggunakan DIFFERENTIAL MERCURY GAUGE seperti **Gb.32**.

Apabila fluida diatas air-raksa dalam gelas-ukur pada kedua kaki sama jenisnya dan mempunyai berat jenis = γ maka beda tinggi air-raksa dicari dengan persamaan :

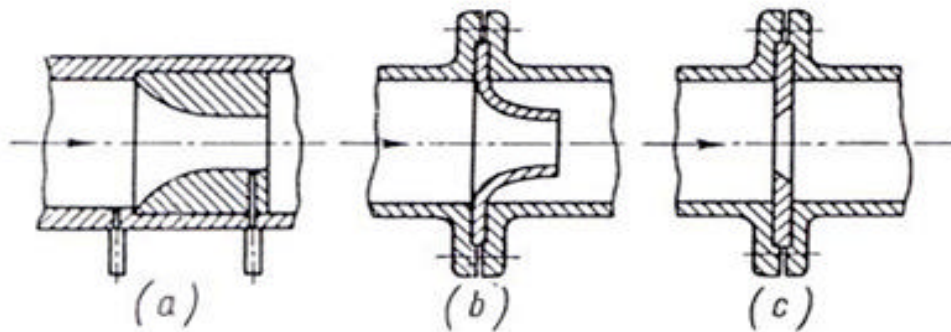
$$\Delta H = \Delta h \frac{g_{Hg} - g}{g}$$

Kadang-kadang untuk pengukuran kita tak menggunakan DIFFUSER. Kita cukup melakukannya dengan memasang NOZZLE didalam saluran seperti **Gb.33.a** atau menjepitnya antara flens **Gb.33.b**.

Konvergensi memang bisa berlangsung secara teratur seperti yang terjadi pada VENTURI METER, tetapi divergensi aliran setelah NOZZLE jika berlangsung mendadak akan menimbulkan aliran-pusar (EDDY FLOWS).

Tahanan dari sebuah FLOW NOZZLE lebih besar dibanding sebuah VENTURI METER seperti **Gb.33.c**. Karena adanya kompresi yang dialami fluida maka penampang-terkecil-arus terletak sedikit didaerah-hilir ORIFICE.

Kedua rumus standard (y) dan (z) tetap dapat diterapkan untuk semua jenis FLOW METER ; hanya perlu faktor koreksi kita sertakan. Faktor koreksi tersebut bisa didapat dari brosur-brosur yang telah ditera berdasarkan FLOW METER STANDARD.



Gb.33

2). KARBURATOR

Merupakan komponen dari motor bakar torak (Motor bensin) yang berfungsi :

- . Menera jumlah bahan bakar & udara.
- . Meng-atomisir bahan bakar.
- . Mencampur bahan bakar dan udara.

Arus udara mengalir melalui saluran venturi dimana jet bahan bakar ditempatkan; kecepatan udara naik ketika melalui venturi sehingga tekanannya turun sesuai RUMUS BERNOULLI.

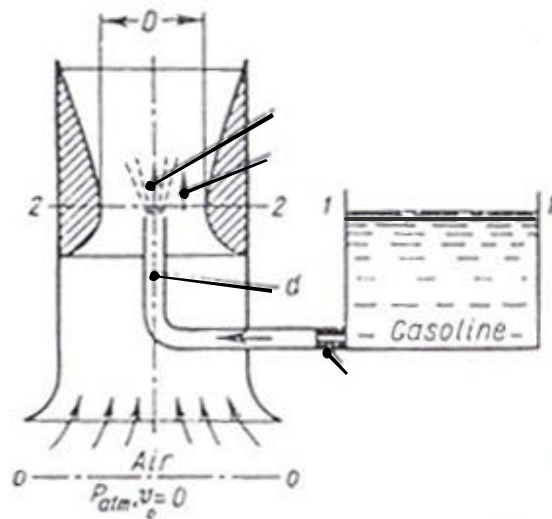
Akibat dari pada efek ini bahan bakar tertarik (tersedot) melalui jet dan tercampur dengan arus udara.

Kita akan mencari hubungan antara debit bahan bakar (bensin) = G_g dan udara = G_a apabila ukuran saluran-saluran (D) dan (d) serta koefisien kerugian (z_a) untuk venturi dan (z_f) dari jet telah diketahui; dan mengabaikan tahanan hidrolis pipa saluran bensin.

Apabila RUMUS BERNOULLI kita terapkan untuk aliran udara antara (0 – 0) dan (2 – 2) dan juga untuk arus bensin antara (1 – 1) dan (2 – 2) serta menganggap $z_1 = z_2$ dan $\alpha = 1$ maka didapat :

$$\frac{p_{atm}}{\rho_a} = \frac{p_2}{\rho_a} + \frac{v_a^2}{2g} + z_a \frac{v_a^2}{2g}$$

$$\frac{p_{atm}}{\rho_g} = \frac{p_2}{\rho_g} + \frac{v_g^2}{2g} + z_f \frac{v_g^2}{2g}$$



Gb.34

Sehingga : $\rho_a \frac{v_a^2}{2g} (1 + z_a) = \rho_g \frac{v_g^2}{2g} (1 + z_f)$

Karena debit adalah sebesar : $G_a = \rho / 4 D^2 v_{a2} g_a$ dan

$$G_g = \rho / 4 d^2 v_{g2} g_g$$

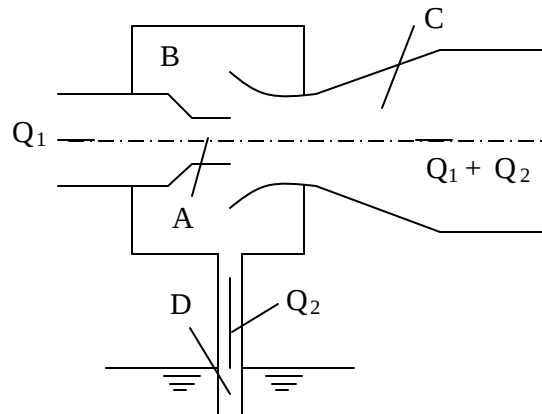
Maka : $\frac{G_g}{G_a} = \left(\frac{d}{D} \right)^2 \sqrt{\frac{g_g (1 + z_a)}{g_a (1 + z_f)}}$

3). AIR EJECTOR

Komponen utama adalah NOZZLE (A) dimana arus mengecil; DIFFUSER (C) yang membesar secara perlahan dan ditempatkan

didekat mulut-NOZZLE dalam ruang-isap (B).

Karena kecepatan arus yang meninggalkan mulut-NOZZLE bertambah besar maka tekanan dalam arus akan turun, demikian pula didalam ruang isap. Pada DIFFUSER kecepatan berkurang sehingga tekanan naik kira-kira mendekati tekanan atmosfer (apabila



Gb.35

fluida yang dibuang menuju atmosfer). Akibat kejadian tersebut maka tekanan dalam ruang isap juga menurun dibawah tekanan atmosfer; istilahnya : TERBENTUK SEDIKIT VAKUM (PARTIAL VACUUM) yang menyebabkan zat cair dari bejana-bawah tersedot naik kedalam ruang-isap lewat pipa (D) dan terjebak oleh arus fluida yang menyemprom dari mulut NOZZLE.

Ejector banyak diterapkan dalam instalasi mesin-mesin penggerak, terutama sekali digunakan untuk LIQUID PROPELLANT ROCKET MOTORS.

*trans.by 738M.

4). PITOT TUBE

Dipakai mengukur kecepatan alir fluida.

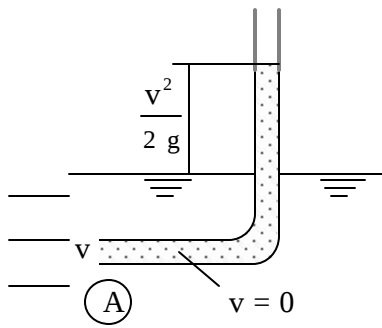
Apabila suatu zat cair mengalir dalam suatu saluran-terbuka atau selokan mempunyai kecepatan = v .

Sebuah pipa-bengkok dicelupkan dalam zat cair dengan lobangnya menantang arah-arus, menyebabkan zat cair didalam pipa vertikal akan naik terangkat diatas permukaan-bebas zat cair yang mengalir tersebut.

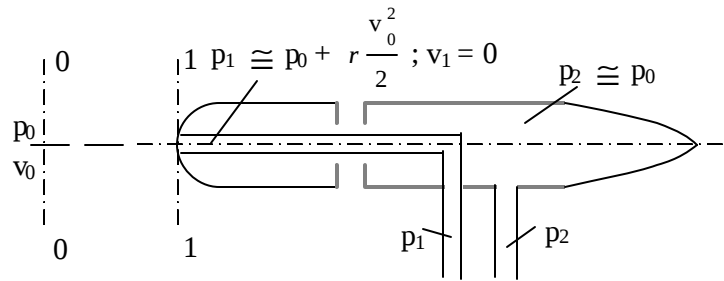
Beda tingginya = VELOCITY HEAD $\frac{v^2}{2g}$; seperti **Gb.36** ; karena

kecepatan partikel-partikel zat cair yang masuk PITOT TUBE pada titik (A) yang merupakan STAGNATION POINT adalah $v = 0$; sehingga tekanan naik sebanyak VELOCITY HEAD. Dengan mengukur tinggi zat

cair dalam tabung-tegak maka kecepatan alir bisa dihitung.



Gb.36



Gb.37

Untuk mengukur kecepatan pesawat udara yang sedang terbang juga menggunakan prinsip yang sama; gambar kasarnya seperti **Gb.37.** untuk mengetahui kecepatan pesawat relatif terhadap KECEPATAN SUARA. Jika PERSAMAAN BERNOULLI untuk suatu arus elementer pada sumbu PITOT TUBE yang sedang mengenai mulut-pipa dan fluida disekitar PITOT TUBE kita terapkan; yakni penampang (1 – 1) dimana $v = 0$ dan (0 – 0) dimana aliran belum terganggu maka didapat :

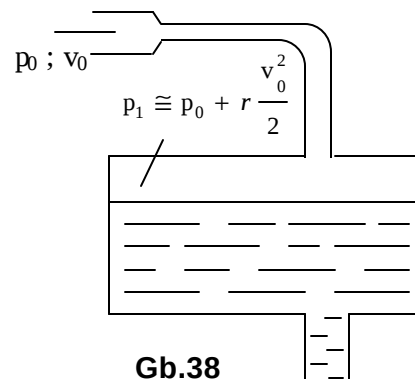
$$p_0 + r \frac{v_0^2}{2} \cong p_1$$

Karena tekanan dalam lubang-pinggir hampir sama dengan arus yang belum terganggu ($p_2 \sim p_0$) maka persamaannya menjadi :

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{r} (p_1 - p_2)}$$

5). ALAT TEKAN TANGKI

Perlengkapan ini banyak dipasang pada pesawat udara untuk memperbesar tekanan didalam tangki bahan-bakar dan juga tangki-tangki lain. Apabila kecepatan terbang pesawat berharga kecil (LOW SPEED) maka tekanan-lebih atau GAUGE



Gb.38

PRESSURE = p_g dalam tangki hampir sama dengan tekanan dinamik-nya, yang bisa kita hitung dari kecepatan terbang dan kerapatan suara :

$$(p_1 - p_0) \simeq \left(\frac{v_0^2}{2} \right) r$$