

BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang:

Diperlukan kajian dengan mengikuti tren aliran sungai di Indonesia karena:

1. Rendahnya distribusi kecepatan aliran sungai di Indonesia. Daerah di Indonesia rata-rata hanya memiliki kecepatan aliran air sungai pada kisaran 2,5 – 6 m/s.
2. Besarnya fluktuasi kecepatan aliran air sungai di Indonesia.
3. Yang berarti profil kecepatan aliran sungai selalu berubah secara drastis dengan dua kondisi, musim hujan dan kemarau

1.1. Perumusan Masalah.

Beberapa masalah yang dihadapi oleh para peneliti adalah desain kincir air yang dapat menghasilkan torsi yang besar mampu memutar generator listrik dengan luas penampang dan kecepatan air pada lokasi tersebut., tentang energi aliran air dan berdasarkan uraian pada bagian latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang kincir air yang mampu menghasilkan torsi besar, aman dari beban fluktuasi aliran sungai.
2. Bagaimana merancang model pembangkit listrik tenaga aliran air sungai yang relative terjangkau harganya?
3. Menentukan posisi cam terhadap arah aliran air paling tepat.

Untuk itu perlu dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga aliran sungai Tipe *Airfoil* Sumbu Vertikal”.

BAB II LANDASAN TEORI

2.2 Formula Yang Digunakan

Energi yang kita gunakan sehari-hari adalah merupakan energi diperoleh dari sumber alam tidak terbarukan, misal energi fosil, energi minyak, energi batu bara, energi gas alam (LPG) yang masing-masing akan habis dalam jangka waktu tertentu. Kondisi ini perlu dipikirkan agar dapat mengurangi ketergantungan pada sumber alam tersebut supaya dapat dimanfaatkan untuk jangka waktu yang lebih panjang, dimana banyak energi disekeliling kita dapat dimanfaatkan dengan melalui eksplorasi ilmiah dengan mengandalkan campur tangan teknologi dan ilmu pengetahuan.

Energi air yang mengalir atau bergerak akibat alam dapat diubah menjadi energi yang terbarukan (renewable energy), dimana dengan membuat teknologi yang mampu menerima gerak dan gaya pada air tersebut dapat diperoleh energi untuk selanjutnya dapat dimanfaatkan, sebagai contoh air terjun gelombang laut, aliran sungai, kincir angin, dan sebagainya. Untuk menangkap energi sudah dapat kita manfaatkan rumus-rumus energi yang dapat diperoleh dari ilmuwan pendahulu yang lebih dahulu memanfaatkan fenomena tersebut.



Beberapa formula/rumus yang digunakan di dalam perhitungan perancangan PLTB tipe baling-baling vertikal.

2.1.1 Besar energi kinetis (E) yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus sbb.:

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad [\text{joule}]$$

dengan,

E = Energi kinetis [joule] m =

massa udara yang mengalir [kg]

V = kecepatan angin [m/s]

2.1.2 Massa udara (m) yang mengalir dapat dihitung dengan rumus sbb.:

$m = \rho A V$ [kg/s] dengan,

ρ = kerapatan udara [kg/m³]

A = luas penampang PLTB [m²]

2.1.3 Besar energi yang dihasilkan per satuan waktu (P) dapat dihitung dengan rumus sbb.:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad [\text{watt}]$$

2.1.4 Daya efektif (E_a) yang dihasilkan oleh kincir air

Brown, CK dan Warne (1975) menyatakan bahwa daya efektif (E_a) yang dihasilkan oleh kincir angin adalah sbb.:

$$E_a = \frac{1}{2} \rho c_p D^2 V^3 \quad [\text{watt}] \text{ dengan,}$$

c_p = koefisien daya

D = Diameter kincir air [m]

2.1.5 Energi listrik yang dibangkitkan per satuan luas penampang sudu kincir angin adalah sbb.:

$$(P_{\text{system}}/A)_{\text{WP}} = \frac{1}{2} \rho \times c_p \times \eta_{\text{tr}} \times \eta_g \times V^3 \quad [\text{watt/m}^2] \text{ dengan,}$$

η_{tr} = Efisiensi transmisi [%] η_g =

Efisiensi generator [%]

2.1.6 Energi listrik yang dibangkitkan per satuan waktu adalah sbb.:

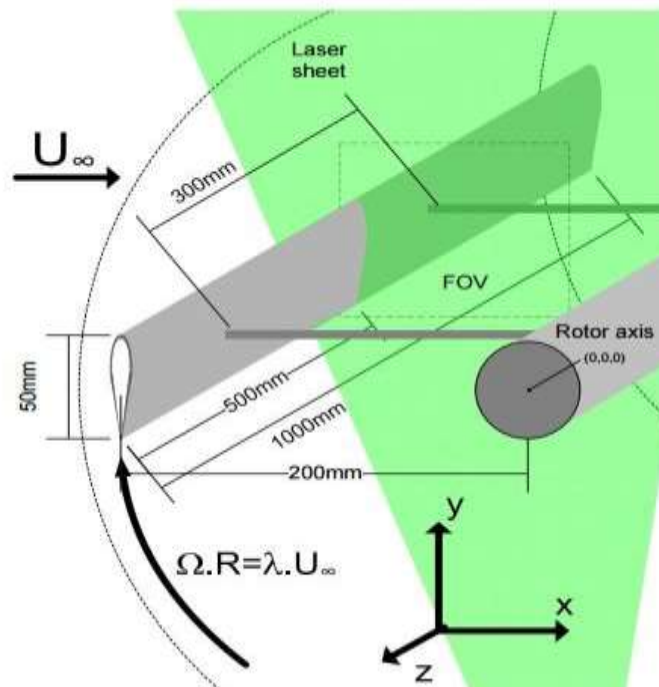
$$(P_{\text{system}}/A) = 0,1454 V^3 dt \quad [\text{watt/m}^2] \text{ dengan,}$$

dt = Satuan waktu [sekon]

2.3 Prototipe Kincir Untuk Aliran Susunan Kecepatan Rendah

1. Sudu

Gambar 2.5 memperlihatkan sudu tipe sumbu vertikal.



Gambar ilustrasi aliran air , sudu dan arah aliran

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 hidrolis. 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.

2. 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, perubahantekanan 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 takterhingga 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 bendapadat 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.

3. Namun cara teoritis ini banyak menemukan hambatan & kesukaran sehinggatah 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, garisbatas 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-hukumdari 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 analisteoritis, 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.

4. 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 cangkik 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 dasardasar 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.

5. 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 (μ). Kemampuan analisa sebelumnya hanya.

6. 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 teretus 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 Turbulent yang amat sangat rumit itu. N.P. Petrov menyelidiki aplikasi teori Newton tentang gesekan dalam fluida; sehingga dianggap sebagai penemu teori pelumas mesin (*lubrication*).

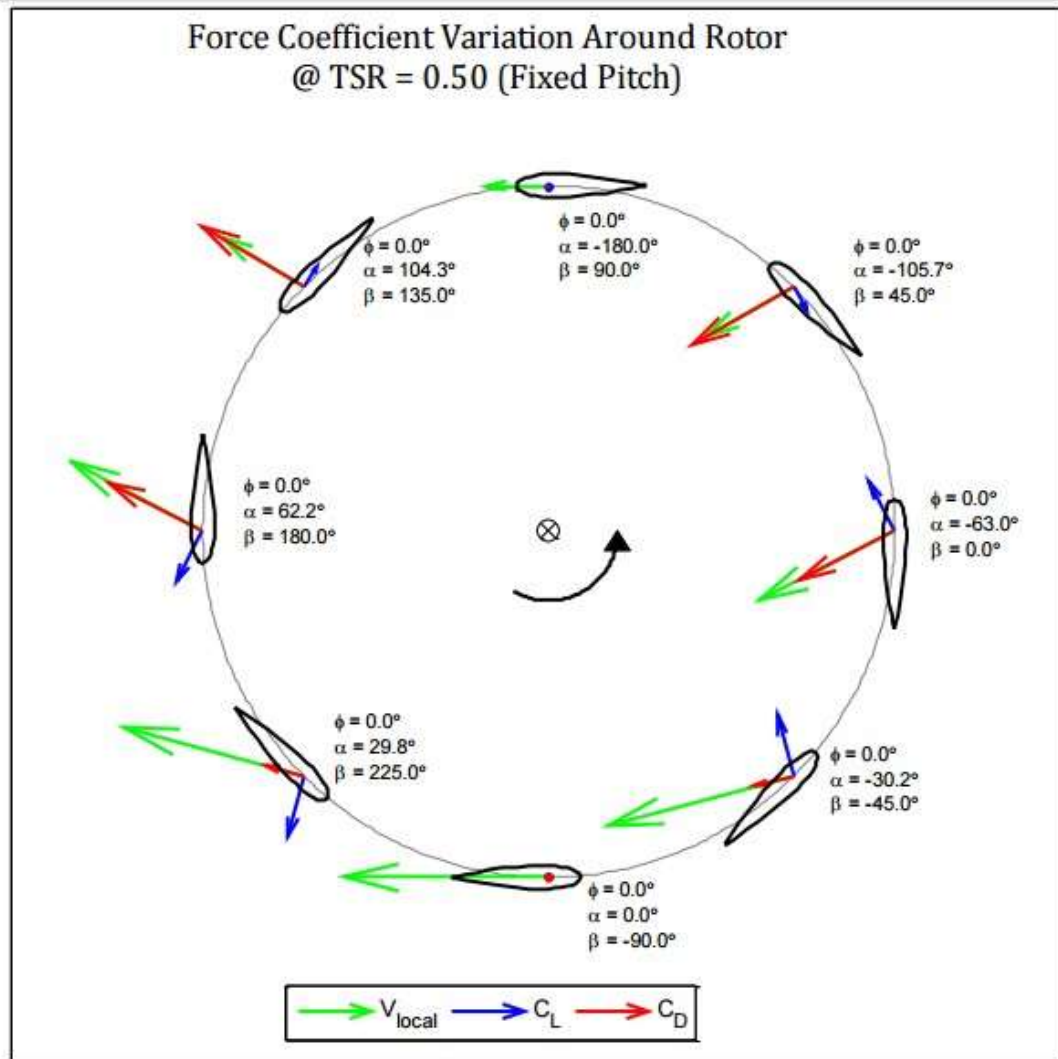
7. Nikolai Joukowski yang interest dalam hidrolika berhasil menggabungkan hasil-hasil eksperimen dengan teori-teori yang telah ada sehingga bermanfaat untuk keperluan penelitian dan aplikasi. Bidang lain yang telah dibakukan adalah dasar teori tentang *aerodynamics*. Yang paling menarik dari penemuan 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 stasionstasion 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 airtanah.

8. 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 molekulmolekul 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



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).

1.4 Sifat-Sifat Zat Cair

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

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

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. 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. Tanda ($-$) karena kenaikan tekanan mengakibatkan kerutnya volume. Kebalikan dari angka kompresibilitas dinamakan modulus elastisitas volume (volume or bulk modulus of elasticity) :

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

Contoh : Air $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $p = 5\text{ Kg/Cm}^2$ $\rightarrow K = 18900\text{ Kg/Cm}^2$ $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $p = 5\text{ Kg/Cm}^2$ $\rightarrow K = 22170\text{ Kg/Cm}^2$ Diambil harga rata-rata $K = 20000\text{ Kg/Cm}^2$.

Jadi bila tekanan dinaikkan 1 Kg/Cm^2 ; volume berkurang

Hanya 20000

1. 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 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Contoh : Air $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $1\text{ Kg/Cm}^2 \rightarrow b_t = 14 \cdot 10^{-6}$.

$100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $100\text{ Kg/Cm}^2 \rightarrow b_t = 700 \cdot 10^{-6}$. Untuk

bahan-bahan produk minyak-bumi $b_t = 1$

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 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. Jadi tiap lapisan bergeser terhadap yang lainnya, sehingga timbul gaya gesek atau gaya geseran. 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 laminar regangan tersebut sebanding dengan *velocity gradient* . Viskositet zat cair sangat dipengaruhi oleh temperatur; berkurang bila temperatur semakin tinggi; 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 viskosite t 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 molekulmolekulnya, sehingga bertambah dengan naiknya temperatur. Viskositet dinamik (η) 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.

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 berbedabeda 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.

Tekanan uap semakin bertambah bila porsi yang ditempati fase cair semakin banyak yang menyatakan hubungan tersebut untuk zat cair bensin. untuk 3 daerah temperatur. Sifat-sifat fisika berbagai jenis cairan yang digunakan pada sistem rocket dan pesawat udara

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 fluidadiam 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 siletak (*right angled tetrahedron*) dengan 3 rusuk (dx ; dy ; dz) yang masing-masing sejajar sumbu-sumbu koordinat 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 :

$$P_x = p_x \cdot$$

$$dy \, dz - p_n \, dS \cos(\theta_{pn}; x).$$

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

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

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

Jadi rumus keseimbangan untuk prisma tersebut berupa :

$$dz \, p_x - p_n \, dS \cos(\theta_{pn}; x) + \frac{1}{6} dx \, dy \, dz \, \rho \, X = 0 \, dy \, dz$$

yang merupakan proyeksi dari

luas bidang miring (dS) terhadap (yz) dan besarnya = $dS \cos(\theta_{pn}; x)$ sehingga didapat :

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

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

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

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

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 :

$p_y = p_n$ dan juga $p_z = p_n$ atau

untuk keseluruhannya :

$p_x = p_y = p_z = p_n$,

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.

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

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.

gaya-gaya yang bekerja pada permukaan-bebas zat cair yang ada dalam bejana adalah tekana (p_0). Sekarang kita hitung tekanan hidrostatik (p) yang terjadi pada sembarang titik (M)

pada kedalaman (h) terhadap permukaan-bebas (*free surface of fluids*). Bila luas lementer = dS dengan pusatnya titik (M); dengan dS sebagai alas kita lukiskan silinder elementer keatas (tegak) setinggi(h); kemudian mengacu pada rumus keseimbangan. Tekanan zat cair pada alas silinder adalah dari luar dan 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 :

$$p = p_0 + h \, g$$

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 pasca*, 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 titiktitiknya 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.

$p / g = \text{pressure head}$ yang harganya linier. $z + p / g = \text{piezometric head}$.

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; sepertipada Bab. *basic equations of fluids*.

2.3. Pressure Head

Pressure head ($p / \rho g$) menyatakan tingginya kolom zat cair tertentu dibandingkan terhadap tekanan absolut ataupun terhadap tekanan lebih (gauge pressure = p). Pressure head dari pada tekanan lebih. Oleh karena itu sungai yang mempunyai kedalaman aliran air kemudian mengalir satu arah akan memberikan efek, bahwa permukaan bawah mempunyai kecepatan aliran lebih cepat karena tekanan akibat kedalaman air itu sendiri, dimana gaya tekanan kebawah merupakan gaya tekan air atau massa dikalikan gravitasi.

2. Komponen-Komponen Pembangkit Listrik Mikro Hidro

- *Diversion Weir dan Intake (Dam/Bendungan Pengalih dan Intake)*

Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ('Intake' pembuka) ke dalam sebuah bak pengendap (Settling Basin).

- *Settling Basin (Bak Pengendap)*

Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.

- *Headrace (Saluran Pembawa)*

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.

- *Headtank (Bak Penenang)*

Fungsi dari bak penenang adalah untuk mengatur perbedaan keluaran air antara sebuah penstock dan headrace, dan untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu-kayuan.

- *Penstock (Pipa Pesat/Penstock)*

Penstock dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah Turbin.

- *Turbine dan Generator*

Perputaran gagang dari roda dapat digunakan untuk memutar sebuah alat mekanikal (seperti sebuah penggilingan biji, pemeras minyak, mesin bubut kayu dan sebagainya), atau untuk mengoperasikan sebuah generator listrik. Mesin-mesin atau alat-alat, dimana diberi tenaga oleh skema hidro, disebut dengan ‘Beban’ (Load),

Tentu saja ada banyak variasi pada penyusunan disain ini. Sebagai sebuah contoh, air dimasukkan secara langsung ke turbin dari sebuah saluran tanpa sebuah penstock seperti yang terlihat pada penggergajian kayu di Gambar 2. Tipe ini adalah metode paling sederhana untuk mendapatkan tenaga air, tetapi belakangan ini tidak digunakan untuk pembangkit listrik karena efisiensinya rendah. Kemungkinan lain adalah bahwa saluran dapat dihilangkan dan sebuah penstock dapat langsung ke turbin dari bak pengendap pertama. Variasi seperti ini akan tergantung pada karakteristik khusus dari lokasi dan skema keperluan-keperluan dari pengguna. *sumber: energiterbarukan.net*

Mikrohidro

Dari Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas

Potensi energi potensial yang dimiliki sungai dapat digunakan sebagai Pembangkit

Listrik Tenaga Mikrohidro

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air.^[*rujukan?*] Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator.^[*rujukan?*] Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu.^[*rujukan?*] Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*).^[*rujukan?*] Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi^[2]. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibagun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi

energi listrik oleh sebuah generator. Mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2.5 meter dapat dihasilkan listrik 400 watt^[3]. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan PLTA skala besar, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 200 KW digolongkan sebagai mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan^[4]. Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut ^[3] :

1. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
2. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
3. Tidak menimbulkan pencemaran.
4. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
5. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Mikrohidro tipe *crossflow*

Prinsip dasar mikrohidro adalah memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu dari tempat instalasi pembangkit listrik.^[rujukan?] Sebuah skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan.^[rujukan?] Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) ke dalam bentuk energi mekanik dan energi listrik. Daya yang masuk (P_{gross}) merupakan penjumlahan dari daya yang dihasilkan (P_{net}) ditambah dengan faktor kehilangan energi (loss) dalam bentuk suara

atau panas. Daya yang dihasilkan merupakan perkalian dari daya yang masuk dikalikan dengan efisiensi konversi (E_o) ^[1].

$$P_{net} = P_{gross} \times E_o \text{ kW}$$

Daya kotor adalah *head* kotor (H_{gross}) yang dikalikan dengan debit air (Q) dan juga dikalikan dengan sebuah faktor gravitasi ($g = 9.8$), sehingga persamaan dasar dari pembangkit listrik adalah :

$$P_{net} = g \times H_{gross} \times Q \times E_o \text{ kW}$$

Dimana head dalam meter (m), dan debit air dalam meter kubik per detik (m^3/s). ^[rujukan?]

Kriteria Desain

- Teknologi pembangkit daya berskala kecil dengan memanfaatkan potensi tenaga aliran air dengan tinggi jatuh (H) dan debit (Q) tertentu, menjadi tenaga penggerak poros turbin yang selanjutnya daya yang dihasilkan oleh putaran poros turbin dapat digunakan menjalankan peralatan lain antara lain generator, pompa air, penggiling padi, kopi dll.

-Daya hidrolik tenaga air : $P_{air} = \rho g Q H$, dimana : P_{air} = daya hidrolik [Watt]

ρ = kerapatan massa air = 1000 kg/m^3 , g = percepatan gravitasi = 9.81 m/det^2

Q = debit [m^3/det], H = tinggi jatuh efektif [m], beda tinggi MA hulu dan MA hilir (H_{static})

– Kehilangan Energi (ΔH)

- Daya turbin yang dihasilkan : $P_T = \eta_T P_{air}$, dimana : P_T = daya turbin [Watt] η_T = Efisiensi Turbin, Daya listrik yang dihasilkan : $P_E = \eta P_{air}$ dimana : P_E = daya listrik [Watt], η = Efisiensi gabungan turbin dan generator = $\eta_T \eta_G$ η_T = Efisiensi Turbin, η_G = Efisiensi Generator, Daya pompa air : $P_P = \rho g Q_P H_P$

dimana : P_P = daya pompa air [Watt], Q_P = debit air yang dihasilkan pompa [m^3/det]

H_P = tinggi energi pompa = $H_{\text{statik}} + \Delta H$ [m], Daya yang diperlukan untuk menjalankan pompa yang dapat berupa energi listrik atau lainnya (daya putaran poros turbin): $P_{pP} = P_P / \eta_P$, dimana : P_{pP} = daya penggerak pompa [Watt] η_P = efisiensi pompa

- Apabila pompa air dijalankan dengan motor listrik maka daya listrik yang diperlukan untuk menjalankan pompa menjadi lebih besar dari daya penggerak pompa tersebut diatas, sebagai akibat adanya kehilangan daya pada motor listrik yang dinyatakan dengan efisiensi motor listrik.

Tabel 1.2

Cadangan dan Produksi(Energi Non Fosil) Indonesia tahun 2007

No	Energi Non Fosil	Sumber Daya	Kapasitas Terpasang
1.	Tenaga Air	75,67 GW (e.q. 845 juta SBM)	4,2 GW
2.	Panas Bumi	27 GW (e.q. 219 juta SBM)	0,8 GW
3.	Mini/micro hydro	0,45 GW	0,084 GW
4.	Bio-mass	49,81 GW	0,3 GW
5.	Tenaga Surya	4,8 kWh/m ² /day	0,008 GW
6.	Tenaga angin	9,29 GW	0,0005 GW
7.	Uranium *)	3 GW (e.q. 24,112 ton) untuk 11 tahun	30 GW

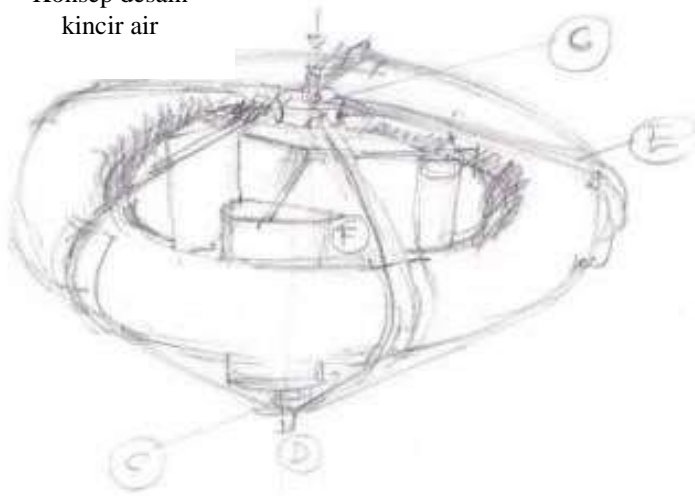
Sumber: www.esdm.go.id, Partowidagdo (2009: 400).

Catatan: *) Hanya di Kalian – West Kalimantan

Beberapa gambar rancangan mulai konsep seperti berikut:

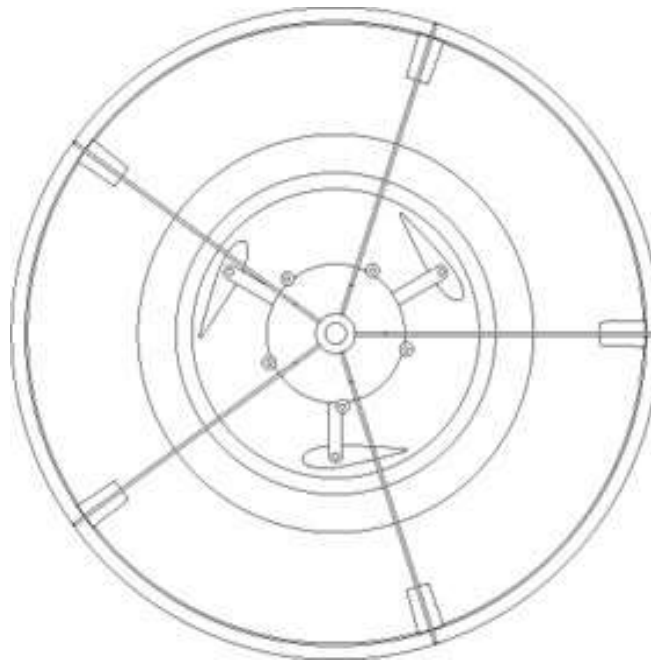
Konsep kincir air untuk sungai yang mengalir pada aliran landai pada saat ini mengacu atau berpedoman dengan bentuk *blade air flow* pada kincir angin, dengan pertimbangan asumsi fluida yang dilewatkan mempunyai massa jenis lebih besar dari udara, asumsi ini tentu belum sampai disimpulkan bahwa aliran fluida lebih besar massa jenisnya mempunyai gaya drag lebih besar atau lebih kecil ketika mengalir pada suatu orifis tertentu. Oleh karenanya pada kesempatan ini akan dapat diperoleh petunjuk-petunjuk yang mengarah pada efisiensi aliran dan gaya atau torsi yang bekerja pada poros kincir, setelah dilakukan pengujian torsi menggunakan *prony break*, yaitu suatu alat ukur torsi dengan memberikan gaya yang dapat diatur pada tromol sehingga terjadi gesekan pada tromol untuk menahan beban torsi yang dapat diatur menggunakan timbangan atau menerapkan hukum hook.

Konsep desain
kincir air

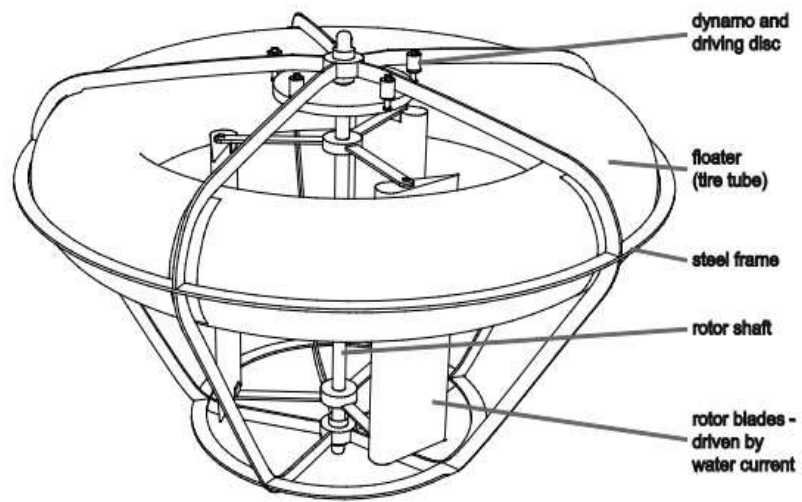




Gambar pelampung



Gambar pandangan atas posisi pemasangan air flow terhadap aliran air



Gambar susunan kincir air yang sudah selesai

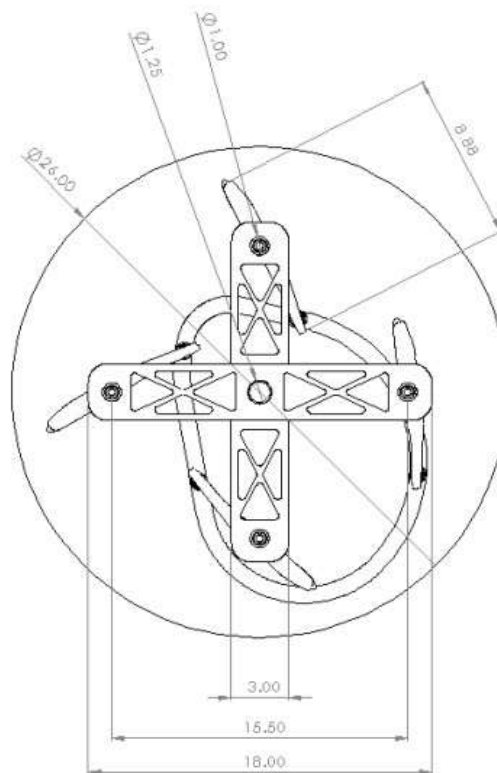
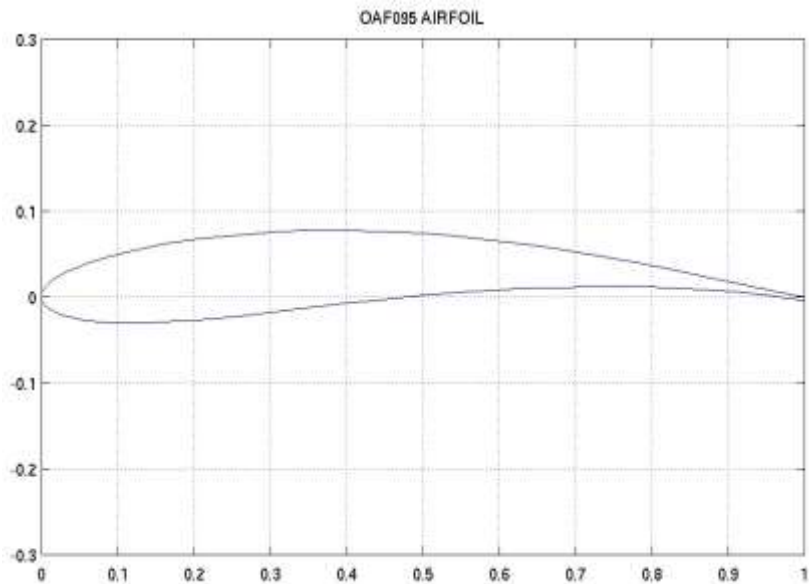


Figure 42: Plan view of the turbine with dimensions

Gambar blade yang dikontrol oleh cam



Gambar *air foil*

yang dibentuk mengikuti perbandingan sumbu x-y sebagai pembentukan lengkung yang memberikan dampak aliran fluida mempunyai efek meengurangi kerugian gesekan pada permukaan, sehingga dihapkan aliran fluida menjadi lebih lancar dan mengurangi kerugian akibat gesekan pada permukaan.

Cam Pengontrol Posisi sirip (blade)

Pada pengontrolan blade yang dipengaruhi oleh tekanan aliran air sungai memberikan efek gaya untuk medapatkan torsi maksimum pada posisi tertentu, hal ini cukup penting bahwa cam harus dapat berfungsi sesuai dengan harapan yakni diusahakan , gesekan kecil, mudah bergerak, mudah diatur posisinya. Keadaan pada pemasangan cam dipikirkan agar posisi cam memberikan penegendalian blade sehingga gerakan yang diharapkan pada posisi harus bebas dan pada posisi bekerja. Ada beberapa posisi yang dibeikan dimana blade harus bebas dan harus bekerja.

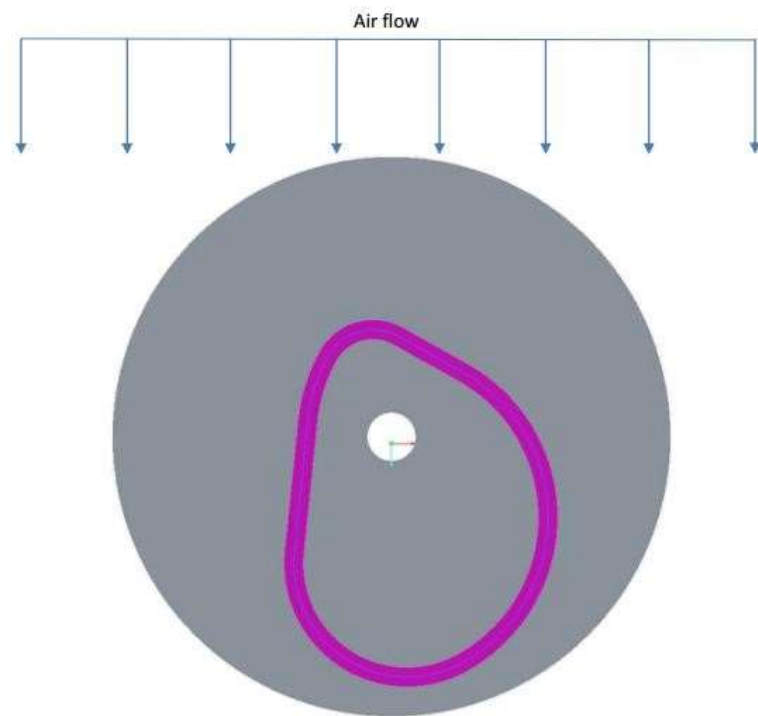


Figure 30: Full Path

Gambar alur cam



Figure 26: Spring loaded cam concept

Gambar plat cam