

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pertanian Metode *Aquaponic***

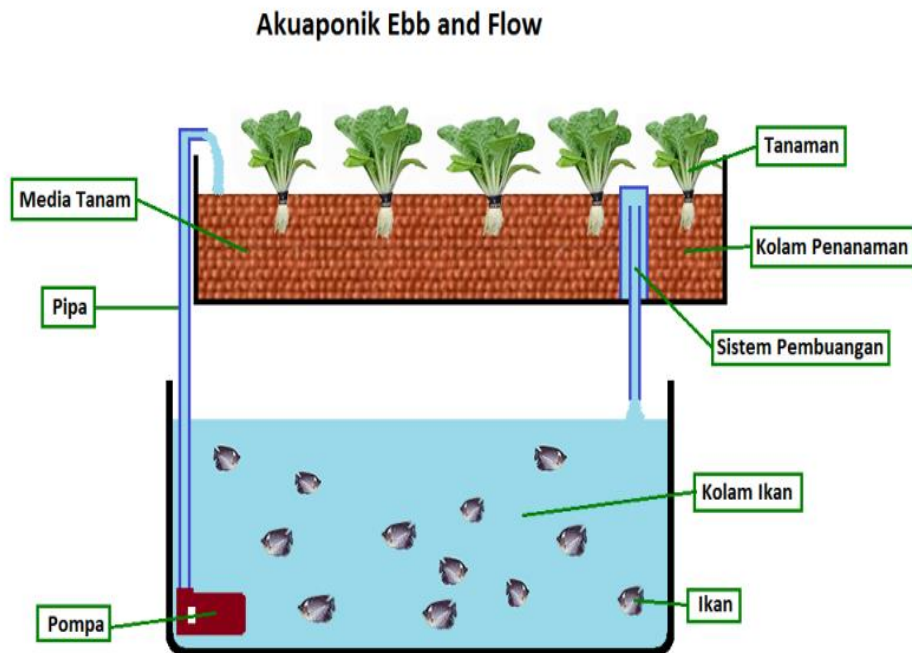
Pertanian *aquaponic* adalah sebuah metode pertanian mengenai tanaman yang ditanam secara bertingkat atau *vertical* dan kesamping secara *horizontal* sebagai upaya untuk meminimalisir penggunaan lahan pertanian dengan menggunakan 2 prinsip utama, yaitu pertanian dan pertanian budidaya ikan konsumsi. Metode ini bisa menjadi solusi bagi petani yang tidak memungkinkan untuk bertanam dengan metode konvensional menggunakan media tanah.

Penggunaan metode ini dibanding pertanian konvensional atau tradisional adalah lebih efisien, mampu beradaptasi, dan memiliki manfaat yang lebih untuk memberikan solusi akan kebutuhan lahan pertanian yang sempit. Pertanian *aquaponic* yang berada di dalam ruangan-ruangan tertutup dapat melindungi tanaman dari jenis ancaman, seperti hama, pergantian musim, banjir, dan kekeringan. Pertanian *aquaponic* juga menghasilkan produk tanaman yang lebih berkualitas, dikarenakan kondisi ruangan dapat diatur, baik itu temperatur, pencahayaan, dan kelembapan.

Pada penerapan pertanian ini digunakan metode penanaman dengan menggunakan air mengalir sebagai pembawa nutrisi ke akar tanaman serta menggabungkan budidaya ikan dengan pertanian dalam satu ekosistem, dimana kedua pihak saling mendukung. Kotoran ikan sebagai nutrisi bagi tanaman bayam yang sudah dilengkapi dengan media tanam (*Netpot*) dan tanaman sebagai pengendali kualitas air pada kolam ikan. Prinsip kerja *aquaponic* adalah tanaman akan menyerap air pada kolam ikan yang mengandung bakteri menguntungkan untuk tanaman. Bakteri ini terbentuk alami dari kotoran ikan yang mengandung ammonia.

Kandungan ammonia pada air kolam akan berubah menjadi nitrat yang diserap tanaman untuk tumbuh. Akar tanaman akan memberikan oksigen tambahan dan berfungsi untuk menjernihkan air yang kemudian dialirkan kembali ke kolam ikan. Pertanian *aquaponic* dan hidroponik memiliki kesamaan dalam penggunaan media tanamnya menggunakan air dan pipa paralon yang disusun seperti rak bertingkat sehingga terdapat beberapa sistem *aquaponic* dan hidroponik yang bisa digunakan untuk budidaya antara lain pertanian sistem vertikal, horizontal, dan campuran.

Proses pembuatan pertanian *aquaponic* dimulai dari membuat rangka bangunan dengan menggunakan bahan besi taso kemudian membuat rak media tanam tanaman dengan menggunakan pipa paralon 4 Inc. Setelah bangunan *aquaponic* selesai dibuat, dilanjutkan dengan membuat kolam terpal dibawahnya sebagai media budidaya ikan, dan dilanjutkan pada proses akhir menyiapkan bibit tanaman yang akan dipasang pada media tanam *aquaponic*. **Gambar 2.1** merupakan contoh bentuk pertanian metode *aquaponic*.



Gambar 2.1 *Aquaponic*

Sumber : <https://medium.com>

### 2.1.1 Pertanian Sistem Vertikal (*Vertikal Farming*)

Adalah sebuah metode pertanian mengenai tanaman yang ditanam secara bertingkat atau vertikal sebagai upaya untuk meminimalisir penggunaan lahan pertanian dengan menggunakan 2 prinsip utama, yaitu pertanian *aquaponic* dan pertanian *vertikultur*. Metode ini bisa menjadi solusi bagi petani yang tidak memungkinkan untuk memproduksi tanaman dengan metode *horizontal farming*. Penggunaan metode sudah banyak diterapkan pada daerah perkotaan karena efisien, mampu beradaptasi, dan memiliki manfaat yang lebih untuk memberikan solusi akan kebutuhan lahan pertanian yang sempit. Pertanian vertikal yang berada di dalam ruangan-ruangan tertutup dapat melindungi tanaman dari jenis ancaman, seperti hama, pergantian musim, banjir, dan kekeringan. Pada prinsip kerjanya pertanian metode vertikal menggunakan pompa air untuk mengalirkan air dari kolam ikan sehingga air akan mengalir ke atas pertanian vertikal dan akan mengalir kebawah sehingga akar tanaman bisa mengambil nutrisi yang mengalir pada air *aquaponic* yang telah bercampur dengan kotoran ikan sebagai sumber nutrisinya

**Gambar 2.2** Merupakan contoh bentuk Pertanian *Vertikal*.



Gambar 2.1 Pertanian *Vertikal*

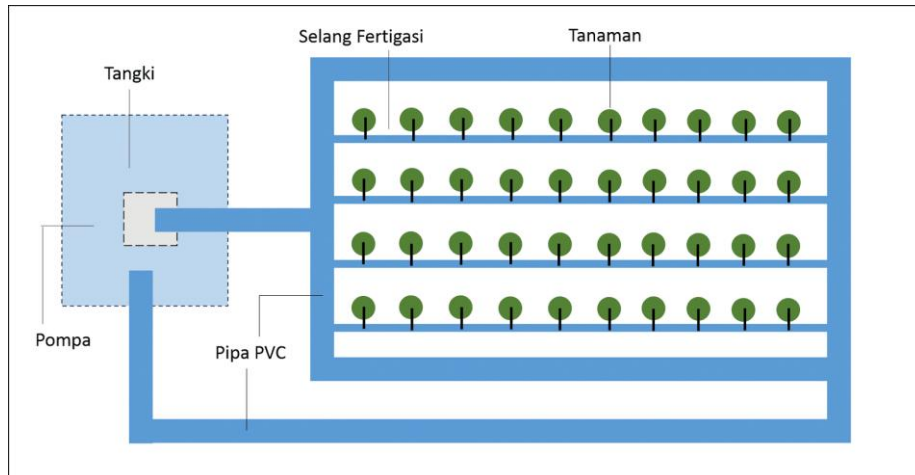
Sumber: <https://id.depositphotos.com/1>

### 2.1.2 Pertanian Sistem *Horizontal* (NFT dan DFT)

Pertanian *horizontal* merupakan metode pertanian yang memanfaatkan kemiringan untuk mengalirkan air ke seluruh tanaman. sistem *horizontal* salah satu contohnya adalah hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*) merupakan sistem hidroponik yang memanfaatkan kemiringan untuk mengalirkan air ke seluruh tanaman. Sistem ini mudah dalam pembuatannya karena hanya membutuhkan beberapa talang air, pipa, pompa aquarium, dan bak air berukuran besar. Air yang dialirkan dalam sistem ini tidaklah banyak, jika diukur hanya setinggi 3 mm. Jadi akar tanaman tidak terendam oleh air, hanya sebatas dialiri saja. Air tersebut tentunya sudah mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Dengan adanya aliran air yang tipis ini, tanaman akan dapat tumbuh dengan seragam, karena air juga tersebar secara merata di talang air.

Air nutrisi dialiri dari kolam ikan menggunakan pompa DC, kekuatannya disesuaikan dengan jumlah talang air yang akan digunakan. Untuk kemiringan talang air, sekitar 2 -5 derajat. Air akan mengalir kembali ke kolam ikan, dan setelah itu kembali naik ke talang air. Kelebihan dalam menggunakan sistem NFT, yaitu pertumbuhan tanaman lebih cepat karena akar tanaman langsung menyentuh nutrisi, kebutuhan air terpenuhi dengan baik tanaman mendapatkan nutrisi secara terus menerus, resiko pengendapan kotoran rendah karena talang air sudah miring, dan tanaman tumbuh lebih seragam. Sedangkan kekurangan dalam menggunakan sistem NFT Karena air dialirkan menggunakan bantuan pompa, maka bergantung kepada listrik. Jika ada tanaman yang terkena penyakit, besar kemungkinan tanaman lain juga terkena penyakit.

Sedangkan hidroponik DFT (*Deep Flow Technique*) tanaman yang ditanam pada pipa kedalaman mencapai 4 – 6 cm sehingga akar tanaman selalu tergenang air yang dialiri air menggunakan bantuan pompa air untuk mengalir air nutrisinya. Kelebihan menggunakan sistem DFT, yaitu tidak selalu membutuhkan listrik karena masih terdapat genangan air yang dapat memberi nutrisi pada tanaman. Kerugian sistem DFT adanya resiko pembusukan akar karena akar selalu terendam dalam air maka akar bisa busuk, Biaya pembuatan sistem DFT cenderung mahal, membutuhkan lebih banyak air nutrisi, dan perawatan relatif sulit. **Gambar 2.3** merupakan contoh bentuk Pertanian *Horizontal*.



Gambar 2.2 *Aquaponic Sistem Horizontal*

Sumber : <https://taman-berkebun.blogspot.com/>

### 2.1.3 Pertanian Sistem Campuran

Adalah variasi pertanian gabungan dari sistem *vertikal* dan *horizontal* yang disusun secara tegak lurus dan kesamping digunakan dalam sistem *aquaponik* budidaya ikan (*aquakultur*) dan tanaman (hidroponik) bersama dalam sebuah ekosistem yang *resirkulasi* atau saling menguntungkan yang menggunakan bakteri alami untuk mengubah kotoran & sisa pakan ikan menjadi nutrisi tanaman. Pertanian jenis campuran memiliki keunggulan dalam penataan rak tanaman yang efisien sehingga bisa menghasilkan tanaman yang lebih banyak dan mudah dalam perawatannya. **Gambar 2.4** merupakan contoh bentuk pertanian campuran.



Gambar 2.3 Pertanian Metode Campuran

Sumber : <https://pangandata.com>

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga *Picohydro*

*Picohydro* adalah pembangkit energi listrik yang memanfaatkan potensi air yang kecil mengubah energi potensial di sungai kecil dan saluran air menjadi energi kinetik melalui turbin, yang menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat dirancang dan diterapkan di daerah pedesaan yang dimana terdapat aliran sungai dengan debit air yang kontinu dan tinggi jatuh air yang relative rendah untuk memutar atau menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan listrik skala kecil <5 kW.

Hal ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di suatu wilayah yang tidak terjangkau listrik dan mengantisipasi biaya yang kian mahal. Sumber energi terbarukan secara umum untuk pembangkit listrik adalah matahari, angin, dan air. Energi terbarukan yang cukup melimpah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui mesin konversi, misalnya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik memerlukan konverter *photovoltaic*, energi air diubah menjadi energi gerak melalaui konverter turbin air.

Menurut Hukum Kekekalan Energi yaitu energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat untuk dimusnahkan namun energi dapat diubah dari suatu bentuk energi ke bentuk energi yang lain. Energi listrik terbentuk oleh proses perubahan energi, yaitu energi gerak (energi mekanik) yang diubah menjadi energi listrik. Dengan terbentuknya energi listrik kehidupan manusia akan menjadi mudah karena listrik dapat membantu banyak aktifitas-aktifitas manusia. Umumnya manusia menggunakan listrik sebagai penerangan, menghidupkan mesin, dan sebagai sumber energi peralatan-peralatan manusia yang lainnya. Pembangkit listrik tenaga *picohydro* menggunakan turbin pelton, generator, dan tenaga air sebagai sumber penggeraknya. Dibawah ini merupakan skema pembangkit listrik *picohydro*.

## Skema Pembangkit Listrik Picohidro

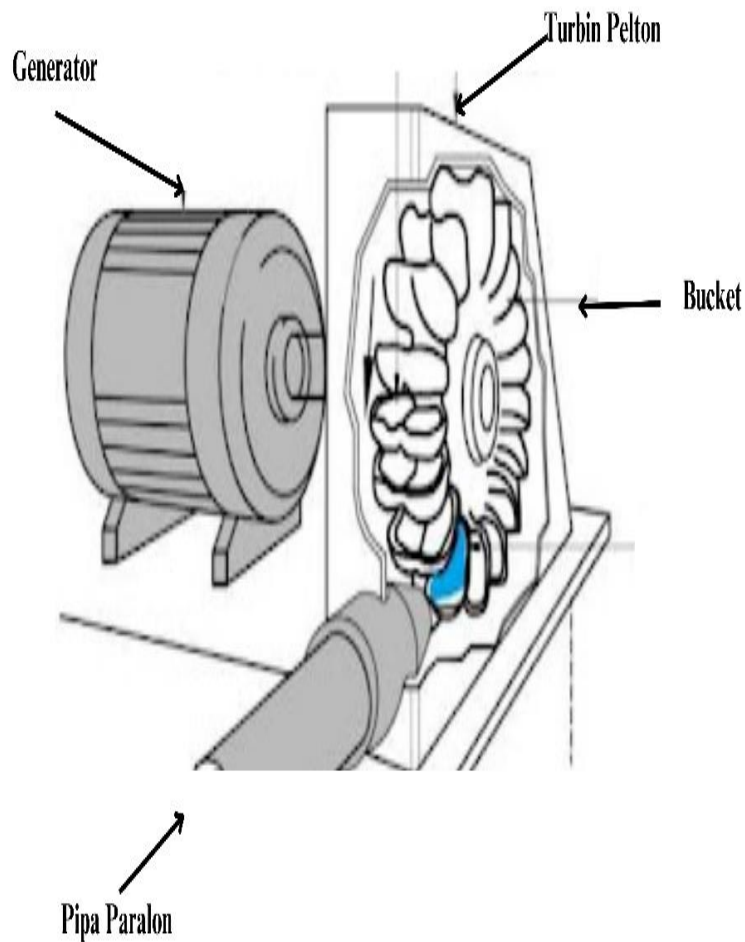


Gambar 2.4 Skema PLTPH

### 2.2.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga *Picohydro*

Prinsip kerja *picohydro* memanfaatkan jatuh air yang mengalir pada pipa untuk menggerakkan turbin pelton. Picohidro dapat dihasilkan dari turbin yang diputar oleh aliran air alami. Debit air menghasilkan energi potensial (tekanan) yang jatuh pada *bucket* turbin pelton maka dihasilkan energi kinetik (kecepatan) yang akan membuat turbin pelton berputar. Turbin pelton menghasilkan energi mekanik yang dapat memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik melalui proses mengkonversi gaya gerak mekanik (GGM) menjadi gaya gerak listrik (GGL) yang dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik *picohydro*.

Dikarenakan kapasitas daya yang dihasilkan tidak terlalu besar dan beban yang sesuai adalah untuk penerangan lampu, dimana saat ini banyak digunakan lampu LED dengan tegangan DC maka akan lebih efisien jika keluar dari Generator DC kemudian disimpan dalam baterai dan langsung digunakan dengan instalasi DC. Semakin besar debit dan tinggi air yang jatuh ke turbin pelton maka semakin besar energi mekanik yang dapat memutar turbin untuk menghasilkan energi listrik. **Gambar 2.7** merupakan contoh gambar pembangkit listrik *picohydro* komponen pembangkit listrik *picohydro*.

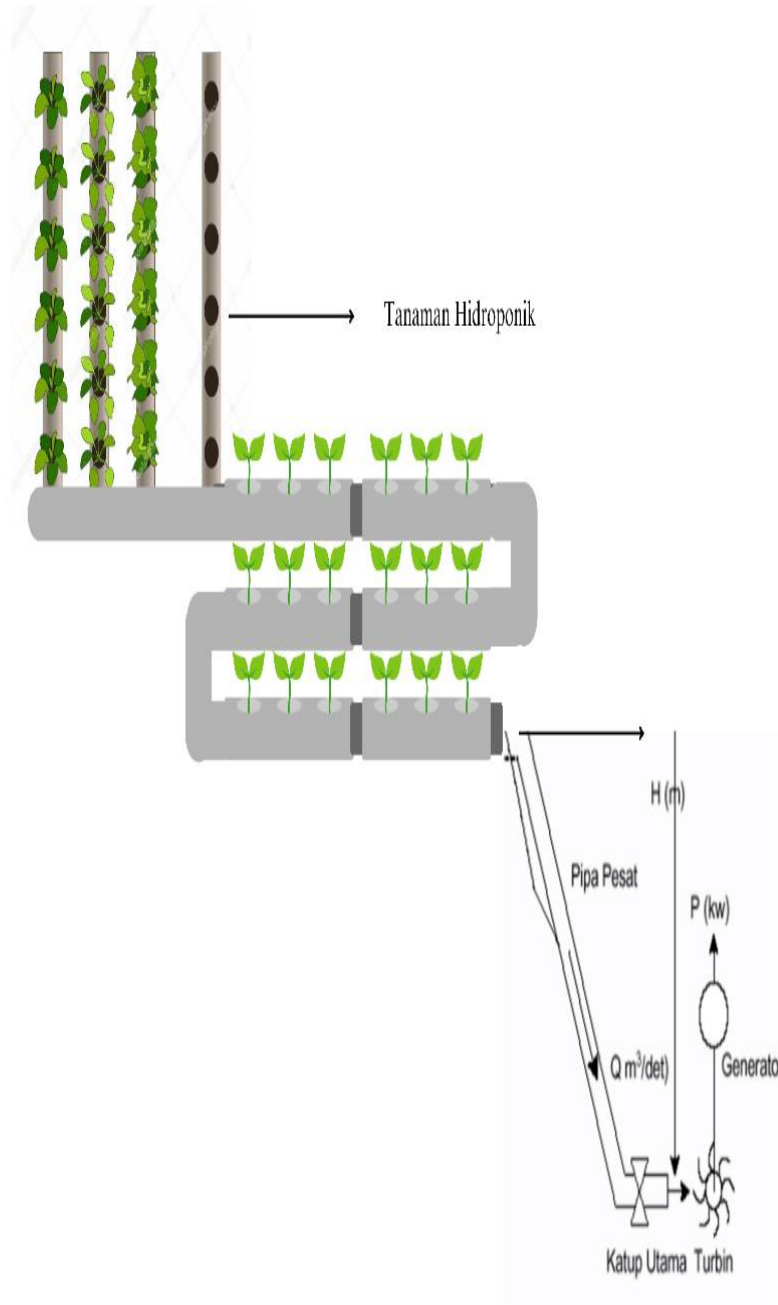


Gambar 2.5 Komponen *Picohydro*

Untuk menciptakan pembangkit listrik tenaga *picohydro* dengan sistem pertanian metode *aquaponic* air kolam ikan akan dialirkan ke vertikal farming dengan menggunakan pompa DC, kemudian aliran air akan turun menuju horizontal *aquaponic* pada proses ini tanaman akan menyerap sumber nutrisi yang ada pada air kolam kemudian akar tanaman akan membantu menyaring kotoran berfungsi sebagai filter alami kotoran yang ikut mengalir pada air sehingga ketika air telah melalui tanaman akan berubah menjadi bersih.



Air yang telah disaring oleh akar tanaman akan keluar dan jatuh tepat mengenai *bucket* turbin pelton lalu dihitung jumlah debitnya untuk mengetahui berapa debit yang dibutuhkan agar menghasilkan putaran RPM yang cukup untuk menghasilkan energi listrik. Air yang jatuh akan memutar turbin pelton pembangkit listrik *picohydro*. **Gambar 2.6** merupakan contoh gambar pembangkit listrik *picohydro*.



Gambar 2.6 PLTPH Aquaponic

Untuk menentukan tenaga yang didapat dari aliran air adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = \eta \times \rho \times g \times h \times i \quad \dots (2.1)$$

Dimana

- P = Daya (J/s or watts)
- $\eta$  = efisiensi turbin
- $\rho$  = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)
- g = percepatan gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- h = head (m).
- i = aliran rata-rata (m<sup>3</sup>/s)

Untuk menentukan kecepatan putar turbin digunakan rumus sebagai berikut:

$$N = \frac{120 \cdot f}{P} \quad \dots(2.2)$$

Ket :

N = Kecepatan Putar (rpm)

F = frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub

Kecepatan spesifik (ns), menunjukkan bentuk dari turbin pelton itu dan tidak berhubungan dengan ukurannya. Hal ini menyebabkan desain turbin baru yang diubah skalanya dari desain yang sudah ada dengan performa yang sudah diketahui. Kecepatan spesifik merupakan kriteria utama yang menunjukkan pemilihan jenis turbin yang tepat berdasarkan karakteristik sumber air. Kecepatan spesifik dari sebuah turbin juga diartikan sebagai kecepatan ideal, persamaan geometris turbin, yang menghasilkan satu satuan daya tiap debit yang jatuh dari head. Untuk menentukan kecepatan spesifik turbin digunakan rumus sebagai berikut:

$$Ns = N \times \frac{P^{0,5}}{H^{1,25}} \quad \dots(2.3)$$

Ket:

$N_s$  = Kecepatan Spesifik (m.Kw)

$N$  = Kecepatan Putar (rpm)

$P$  = *Output* Turbin (Kw)

$H$  = Tinggi (m)

### 2.3 Turbin Pelton

Turbin Pelton atau roda Pelton adalah jenis turbin *hydro* (khususnya turbin *impuls*) yang sering digunakan di pembangkit listrik tenaga air. Turbin ini umumnya digunakan untuk ketinggian head > 300 meter. Debit air yang tinggi dapat membuat turbin Pelton bergerak cepat dan turbin mengekstraksi energi dari air dengan memperlambat air, yang membuatnya menjadi turbin *impuls*. Bila digunakan untuk pembangkit listrik, biasanya terdapat reservoir air yang terletak agak tinggi di atas turbin Pelton.

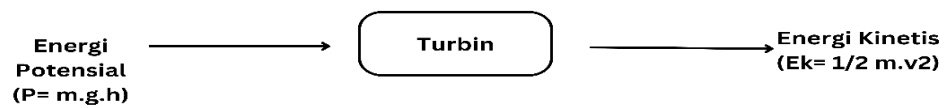
Air kemudian mengalir melalui penstock ke nozel khusus yang memasukkan air bertekanan ke turbin. Tidak seperti jenis turbin lain yang merupakan turbin reaksi, turbin Pelton dikenal sebagai turbin *impuls*. Ini berarti bahwa alih-alih bergerak sebagai akibat dari gaya reaksi, air menciptakan beberapa *impuls* pada turbin untuk membuatnya bergerak sehingga menghasilkan energi listrik yang besar pula, konstruksi yang sederhana, dan mudah dalam perawatan. Turbin Pelton atau pelton (*wheel*) bekerja pada head tinggi dan laju aliran rendah. Ini digunakan untuk ekstraksi daya. **Gambar 2.8** merupakan contoh gambar turbin pelton.



Gambar 2.7 Turbin Pelton

Sumber : <https://savree.com>

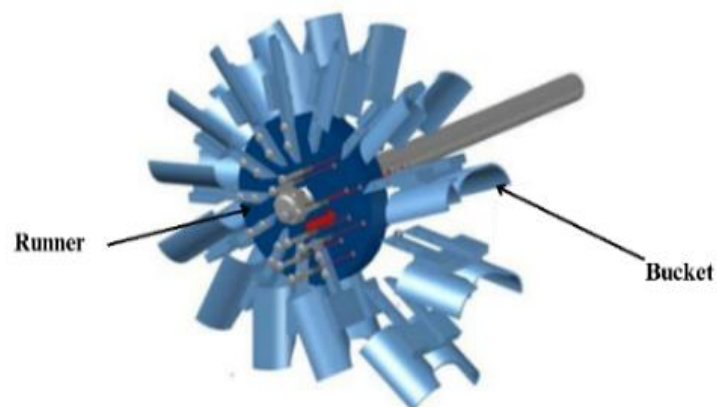
Debit air yang mengalir merupakan salah satu bentuk dari energi potensial karena adanya pengaruh dari tempat dan kedudukan energi yang mempengaruhi benda karena posisi (ketinggian) benda tersebut. Energi potensial air yang jatuh akan mengenai turbin sehingga turbin akan berputar disebabkan oleh tenaga gerak energi potensial debit air kemudian mengubah energi potensial jatuh air menjadi energi kinetik.



Gambar 2.8 Perubahan Energi Pada Turbin

### 2.3.1 Komponen Utama Turbin Pelton

Turbin Pelton yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga *picohydro* memiliki komponen utama dan komponen tambahan yang mendukung fungsi kerja turbin pelton. Pada dasarnya turbin pelton terdiri dari *Runner* dan *Bucket*. **Gambar 2.10** merupakan contoh gambar komponen utama turbin pelton.



Gambar 2.9 Komponen Turbin Pelton

Sumber : <https://themechanicalengineering.com>

### 2.3.2 *Runner (Rotor)*

*Runner* Turbin Pelton pada dasarnya terdiri dari piringan dengan sejumlah *bucket* terpasang di sepanjang pinggirannya. Jatuh air berkecepatan tinggi mengenai bucket secara tegak lurus sehingga torsi maksimum diterapkan ke rotor. *Runner* pada Turbin Pelton yang berputar dan memiliki energi kinetik berfungsi menyimpan energi rotasi sehingga turbin akan berputar secara stabil tergantung pengaruh dari debit air yang jatuh pada permukaan turbin. *Runner* terhubung pada poros penggerak (as) turbin pelton ke generator, hal ini memungkinkan untuk mengubah energi mekanik dari *runner* yang berputar menjadi energi listrik. **Gambar 2.11** merupakan contoh gambar *runner* turbin pelton.



Gambar 2.10 *Runner* Turbin Pelton

Sumber : <https://savree.com>

### 2.3.3 *Bucket*

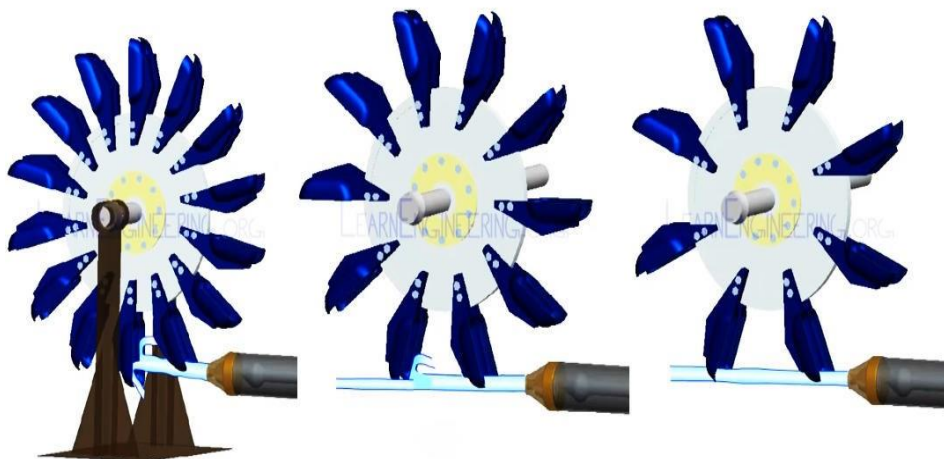
*Bucket* atau bilah impuls, memiliki bentuk cangkir yang berdekatan satu sama lain. *Bucket* adalah komponen turbin pelton yang berfungsi untuk menangkap pancaran air dan mengarahkan aliran secara bertahap ke belakang. Karena desain bucket berbentuk mangkok hampir semua energi kinetik dari debit air dimanfaatkan sebagai torsi untuk memutar turbin. **Gambar 2.11** merupakan contoh gambar *bucket* turbin pelton.



Gambar 2.11 *Bucket* Turbin Pelton

Sumber : <https://savree.com>

Salah satu parameter terpenting dari desain turbin pelton adalah jumlah *bucket* turbin. Jika jumlah ember tidak mencukupi, tentu akan mengakibatkan hilangnya semburan air. Itu berarti ketika satu *bucket* berputar akibat dari pancaran air, *bucket* berikutnya mungkin tidak bersinggungan dengan pancaran. Hal ini akan mengakibatkan hilangnya pancaran air untuk durasi waktu yang kecil, sehingga efisiensi turbin turun secara tiba-tiba. Dengan berkurangnya jumlah ember di beberapa titik operasi, semburan air lengkap mungkin hilang sehingga harus ada jumlah *bucket* yang sesuai, yang akan memastikan tidak ada air yang hilang. Berikut gambar 2.12 Pengaruh jumlah *bucket* pada turbin pelton.

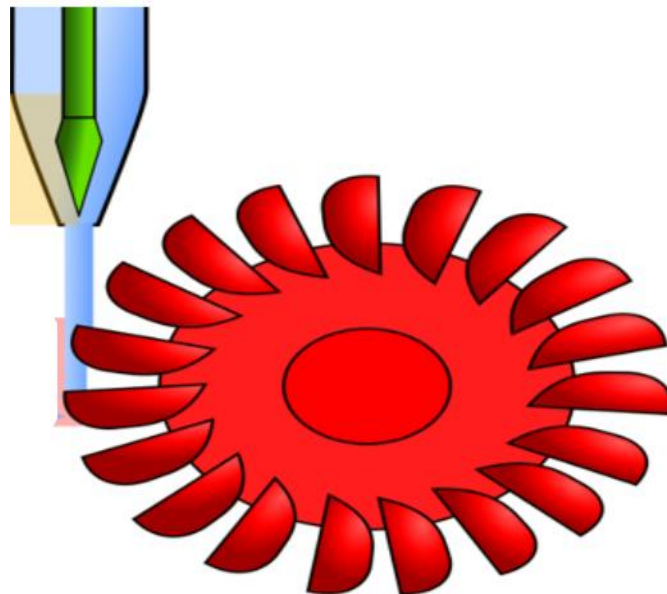


Gambar 2.12 Pengaruh Jumlah *Bucket*

Sumber: <https://www.lesics.com>

### 2.3.4 Prinsip Kerja Dasar Turbin Pelton

Prinsip kerja turbin pelton sederhana. Debit air berkecepatan tinggi akan jatuh mengenai *bucket* roda Pelton menginduksi kekuatan *impulsive* sehingga Gaya ini membuat turbin berputar. Poros berputar menjalankan generator dan menghasilkan listrik. Setiap *bucket* terdiri dari dua bagian yang dipisahkan yang berfungsi sebagai pemisah, yaitu membagi pancaran air sehingga aliran ke kedua sisi *bucket* merata sehingga memungkinkan semburan air mengalir ke setiap *bucket* pada sudut yang optimal. Bentuk mangkok dari *bucket* menyebabkan energi kinetik pancaran air diubah menjadi energi mekanik secara bertahap, saat air menyelesaikan putaran 180 derajat di dalam *bucket*. Energi mekanik memanifestasikan dirinya sebagai torsi pada poros *runner*, yang menyebabkan *runner* berputar. Setelah keluar dari *bucket*, air akan jatuh pada kolam penampungan. Karena *Runner* Pelton terhubung pada poros bersama ke generator, generator mulai menghasilkan listrik segera setelah *runner* berputar. Generator mengubah energi mekanik yang disuplai oleh runner menjadi energi listrik, yang kemudian dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik disuatu tempat. **Gambar 2.13** merupakan contoh gambar turbin pelton sehingga bisa berputar.



Gambar 2.12 Prinsip Kerja Turbin Pelton

Sumber : <https://energyeducation.ca>

## 2.4 Flow Meter

*Flow meter* adalah alat yang berfungsi untuk mengukur kecepatan volumetrik suatu cairan atau gas yang mengalir di dalam sebuah pipa atau instrumen aliran yang digunakan untuk menunjukkan jumlah cairan, gas, atau uap. Flow meter mengukur flow rate atau kecepatan aliran dan volume total massa pada material yang mengalir dalam kurun waktu tertentu. **Gambar 2.14** merupakan contoh gambar *Flow Meter*.



Gambar 2.13 *Flow Meter*

Sumber: indobot.co.id/

Pada sebagian besar instrumen pengukuran aliran cairan, laju aliran ditentukan secara inferensial dengan mengukur kecepatan cairan atau perubahan energi kinetik. Kecepatan bergantung pada perbedaan tekanan yang memaksa cairan melalui pipa atau saluran. Karena luas penampang pipa diketahui dan tetap konstan, kecepatan rata-rata merupakan indikasi laju aliran. Hubungan dasar untuk menentukan laju aliran cairan dalam kasus seperti itu adalah:

$$Q = V \times A \quad \dots(2.4)$$

Dimana:

Q = Aliran cairan melalui pipa

V = Kecepatan rata-rata aliran

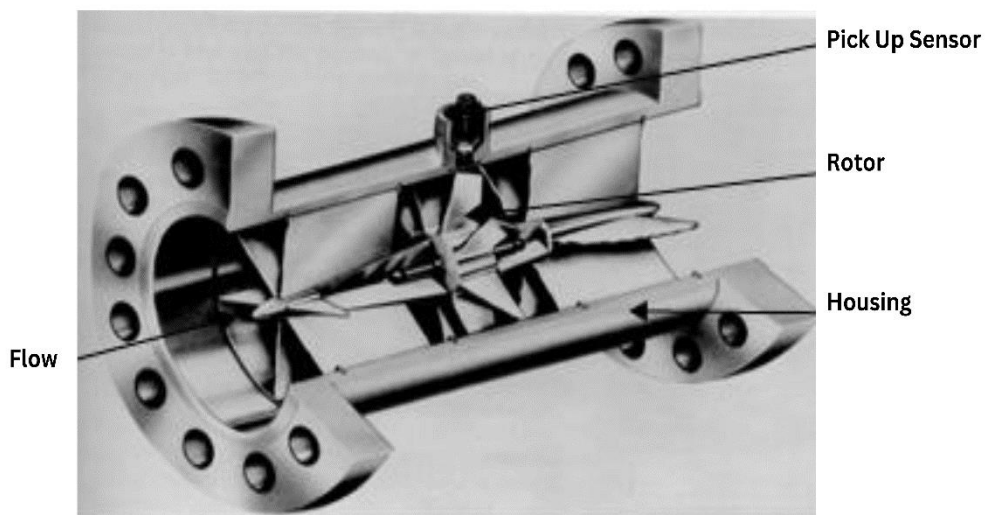
A = Luas penampang pipa



### 2.4.1 Konstruksi *Flow Meter*

Konstruksi utama *flow meter* terdiri dari 3 bagian utama, yaitu Turbin (rotor, impeler, baling-baling) Sensor pengambilan (dengan pemancar), Housing (Perumahan). Turbin terdiri dari poros, yang dipasang di dalam pipa dan impeler. Baling-baling tersebut berupa roda berbilah banyak. Roda tersebut terpasang pada poros yang berputar pada bantalan. Masing-masing bilah memiliki kutub magnet di ujungnya. Semua bagian ini membentuk rotor (bagian yang bergerak) dari turbin. Ada dua jenis instalasi utama menurut teknologi aliran aksial dan tangensial. Pada tipe aksial, aliran diarahkan sejajar dengan sumbu poros, sedangkan pada tipe tangensial, aliran mengalir di sekelilingnya.

Bahan rotor dan bantalan dipilih tergantung pada jenis media dan akurasi yang dibutuhkan. Sistem sensor terdiri dari kumparan induksi (atau sensor Hall) dan pemancar sinyal (transduser). Kumparan induksi menghasilkan impuls listrik yang berbanding lurus dengan kecepatan rotor dan memindahkannya ke alat perekam dan sensor Hall hanya mendeteksi perubahan medan magnet. *Housing* terbuat dari baja tuang non-magnetik (atau aluminium atau bahkan plastik) dan berisi sensor pengukur dan rotor. **Gambar 2.15** merupakan gambar konstruksi *Flow Meter*.

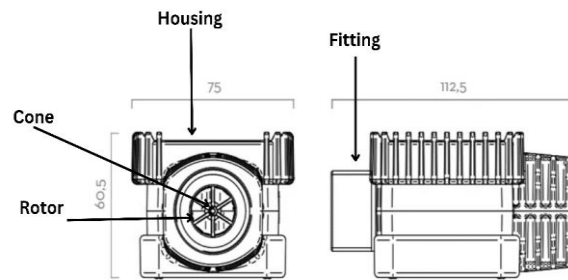


Gambar 2.14 Konstruksi *Flow Meter*

Sumber : [www.instrumentationtoolbox.com](http://www.instrumentationtoolbox.com)

Konstruksi Flow meter memiliki 2 bagian: komponen Mekanik dan komponen Listrik. Komponen elektrik terdiri atas bagian-bagian yang menyalurkan pulse dalam bentuk arus listrik. Bagian magnet yang berfungsi menciptakan sebuah medan magnet. Letaknya, tepat di bagian atas rotor atau baling-baling. Kemudian, ada elektroda untuk menangkap tegangan induksi akibat pergerakan logam baling-baling dalam medan magnet. Terakhir, adalah sistem dan display digital untuk menampilkan hasil secara kuantitatif.

Komponen mekanik terdiri atas bagian-bagian yang bergerak dalam flow meter ini. Letaknya berada di dalam pipa, inline, dan memberikan efek obstruktif pada aliran fluida. Bagian pertama adalah rotor, yang terdiri atas as (poros) dan baling-baling yang berputar akibat dorongan arus fluida. Bagian kedua disebut dengan stator sebagai *support* yang tidak ikut berputar dan berfungsi mensejajarkan aliran fluida. **Gambar 2.16** merupakan gambar konstruksi mekanik *Flow Meter*.



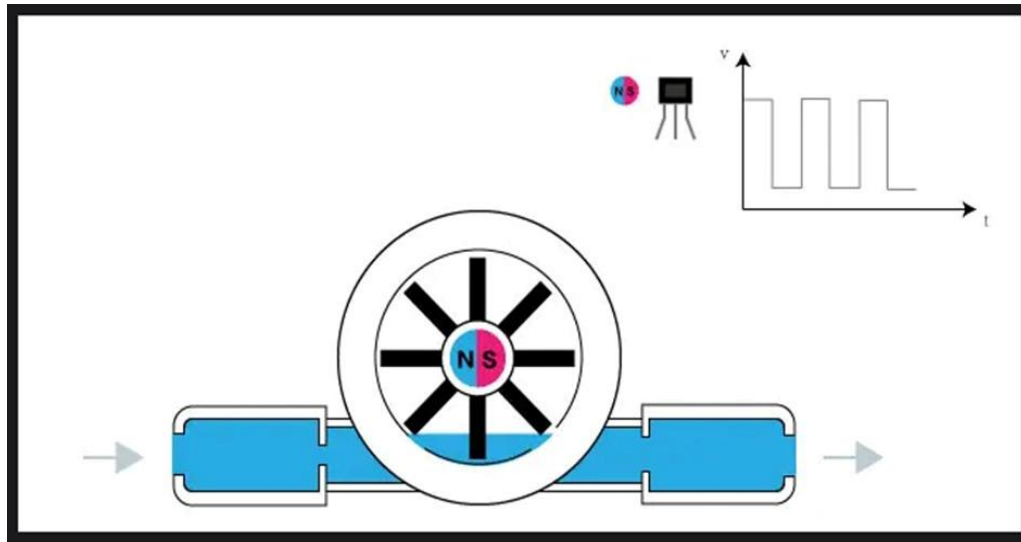
Gambar 2.15 Komponen Mekanik

Sumber : [www.instrumentationtoolbox.com](http://www.instrumentationtoolbox.com)

### 2.4.3 Prinsip Kerja *Water Flow*

Prinsip kerja *water flow* semakin cepat aliran air yang melaluinya maka semakin besar nilai yang akan terbaca oleh sensor. Air atau gas mengalir dari pipa ke bagian turbin. Energi mekanik mendorong permukaan baling-baling dan membuatnya berputar. Semakin besar volume zat yang melewati pipa, semakin besar energi yang diciptakan, dan semakin tinggi kecepatan sudut (rotasi) baling-baling. Baling-baling dengan magnet pada ujungnya melintas di dekat sensor listrik pada kecepatan tertentu dan menyebabkan perubahan medan magnet.

Jika perangkat memiliki kumparan induksi, maka pulsa listrik diinduksi di dalamnya. Jika sensor Hall dipasang, sensor ini hanya menangkap perubahan tersebut. Metode ini mirip dengan pengukur aliran magnetik. Nilai frekuensi perubahan yang terjadi dipantau dan dikirim ke pemancar. **Gambar 2.17** merupakan gambar *pulse* yang dihasilkan *Flow Meter*.



Gambar 2.16 *Pulse Flow Meter*

Sumber : <https://wiki.seeedstudio.com>

Frekuensi sinyal tersebut berbanding lurus dengan kecepatan aliran. Berikut ini adalah persamaan pengukur aliran turbin tentang ketergantungan antara aliran volume dan frekuensi pulsa: Rumus Aliran dan Frekuensi

$$F = k \cdot Q \quad \dots(2.5)$$

Dimana:

F = Indikator menampilkan banyak pulsa yang dideteksi oleh sensor (jumlah/s)

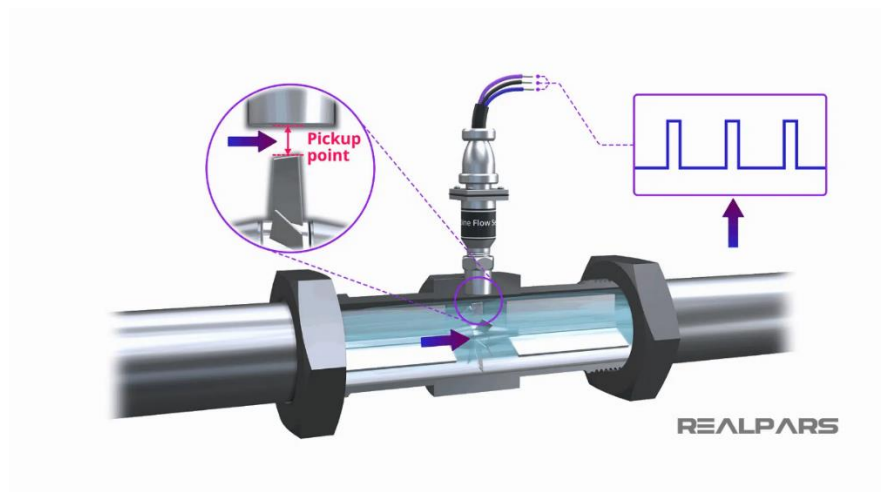
Q = Aliran volumetrik (m<sup>3</sup>, galon, liter / s)

k = Koefisien khusus, juga dikenal sebagai faktor-k (jumlah pulsa per m<sup>3</sup>).

Selanjutnya, pemancar menganalisis data yang diterima dan mengubahnya menjadi sinyal analog atau digital. Saat fluida mengalir melalui pengukur turbin, fluida tersebut menumbuk bilah turbin yang bebas berputar pada sumbu di sepanjang garis tengah rumah turbin. Pengukur aliran turbin menggunakan energi mekanik cairan untuk memutar rotor di dalam aliran sehingga tidak ada torsi yang

diperlukan untuk mempertahankan putaran turbin. Kecepatan putaran berbanding lurus dengan kecepatan fluida yang melewati meteran. Pengukur ini digunakan di berbagai industri untuk mengukur cairan, gas, dan uap.

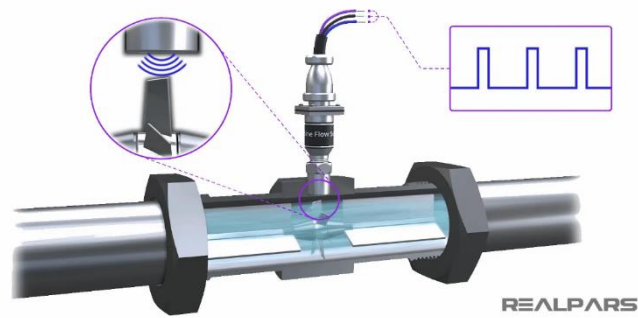
Berikut ini merupakan cara water flow sensor sehingga bisa menghitung debit air, yaitu Water flow dimasukkan ke dalam pipa berukuran 1 inc dan  $\frac{3}{4}$  inc yang tersambung dengan jalur aliran. Bagian mekanis dari water flow memiliki rotor turbin yang ditempatkan di jalur aliran yang mengalir. Saat rotor berputar, bagian dari setiap bilah rotor yang melewati titik awal putaran akan menghasilkan pulsa listrik. Pulsa listrik dibuat dengan cara yang berbeda tergantung pada bilah rotor itu sendiri dan karakteristik unit pickup. **Gambar 2.18, Gambar 2.19, dan Gambar 2.20** merupakan gambar rotor dan *pulse* yang dihasilkan *Flow Meter*.



Gambar 2.17 Rotor dan *Pulse*

Sumber : <https://realpars.com>

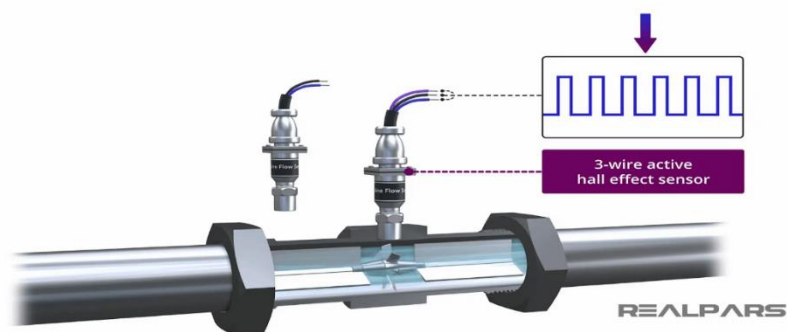
Sensor *pickup* magnet dipasang pada baling-baling, dan sensor penangkap magnetik digunakan untuk menciptakan pulse. Semakin tinggi laju aliran, semakin cepat rotor berputar dan semakin besar jumlah *pulse*.



Gambar 2.18 Gelombang *Pulse*

Sumber : <https://realpars.com>

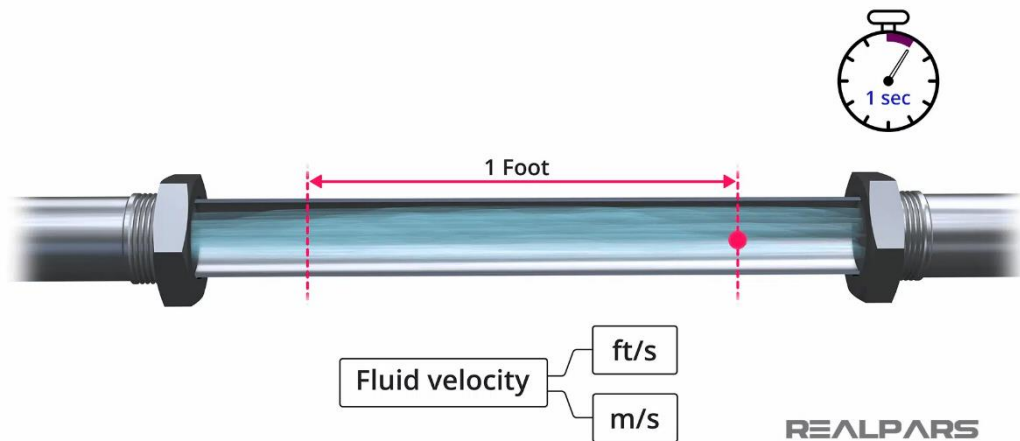
Bentuk dan level tegangan pulsa yang dihasilkan, sepenuhnya bergantung pada jenis unit pickup yang digunakan. Perangkat pendeteksi pulsa listrik dapat berupa perangkat aktif 3-kawat seperti sensor Efek Hall yang menghasilkan pulsa gelombang persegi yang lebih bersih dan seragam.



Gambar 2.19 *Pulse* yang Terdeteksi

Sumber : <https://realpars.com>

Laju aliran *volumetric* pada rotor turbin akan berputar pada kecepatan yang berbeda tergantung pada kecepatan aliran fluida. Kecepatan Fluida adalah pengukuran jarak yang ditempuh partikel zat per unit waktu. Satuan kecepatan yang umum adalah liter/s atau meter/s. Kecepatan *fluida* memainkan peran yang sangat penting dalam pengoperasian Pengukur Aliran Turbin, tetapi dalam sebagian besar aplikasi, Pengukur aliran turbin digunakan untuk mengukur laju aliran *volumetric*. **Gambar 2.21** merupakan satuan waktu *volumetric*.

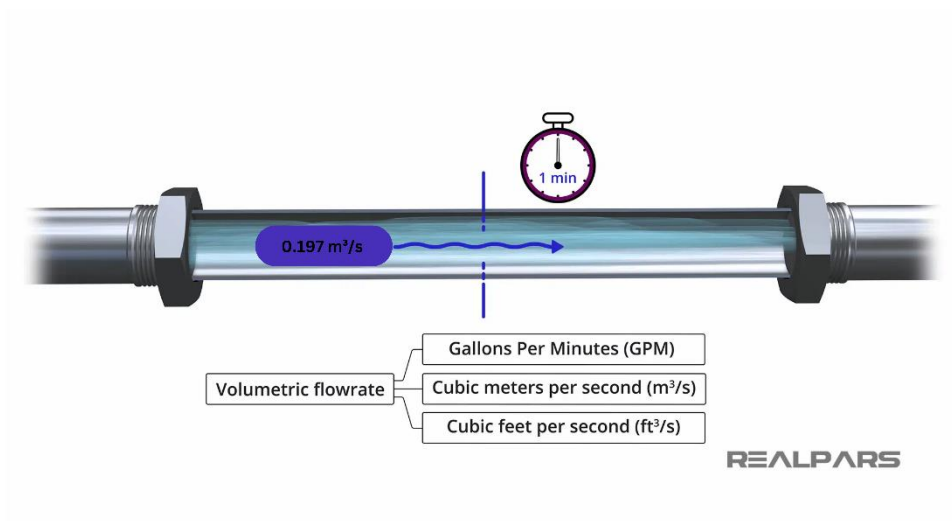


Gambar 2.20 Satuan Waktu *Volumetric*

Sumber : <https://realpars.com>

Laju Aliran Volumetrik menunjukkan volume cairan yang melewati suatu titik dalam satuan waktu. Laju Aliran Volumetrik dinyatakan dalam satuan seperti:

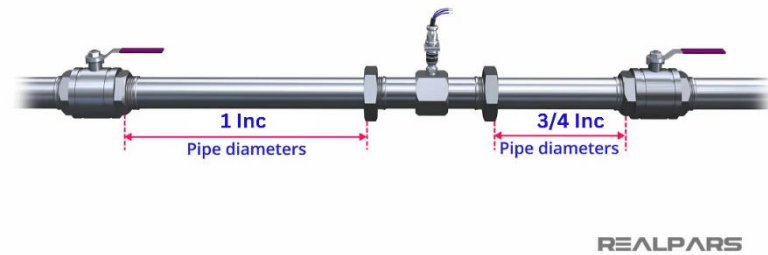
- galon per menit (GPM)
- meter kubik per detik ( $m^3/dtk$ )
- kaki kubik per detik ( $ft^3/s$ )



Gambar 2.21 Hasil Perhitungan Volumetric

Sumber : <https://realpars.com>

Pemasangan pengukur aliran turbin pemasangan tipikal membutuhkan 1 inc pipa paralon di bagian hulu pipa lurus dan  $\frac{3}{4}$  inc diameter pipa di bagian hilir. **Gambar 2.23** merupakan contoh dari pemasangan *flow meter*.



Gambar 2.22 Instalasi *Flow Meter*

Sumber : <https://realpars.com>

Penggunaan *flow meter* pada *aquaponic* adalah untuk mengukur nilai debit air yang mengalir pada pipa paralon pvc yang digunakan untuk memenuhi nutrisi tanaman setelah itu air akan keluar melalui *flow meter* dan akan jatuh pada *bucket* turbin pelton. Putaran turbin pelton akan menggerakkan generator sehingga generator akan menghasilkan energi listrik. **Gambar 2.24** merupakan penggunaan *flow meter* pada *aquaponik*.



Gambar 2.23 *Flow Meter Aquaponic*

## 2.5 Pulley

Pulley adalah salah satu dari sistem transmisi mekanik yang biasa dipakai pada pembangkit listrik tenaga *picohydro*. Sistem transmisi tersebut juga berfungsi untuk mengubah kecepatan putar dari satu poros ke poros yang lain. Pada umumnya putaran turbin tidak sama dengan daerah putaran kerja generator, untuk memperoleh putaran generator sesuai dengan daerah putaran kerjanya dapat digunakan pulley yang terpasang pada sumbu turbin dan sumbu generator dengan besaran diameter yang sesuai dengan ratio putaran turbin dan putaran generator yang dikehendaki. Dibawah ini merupakan skema pulley. **Gambar 2.25** merupakan penggunaan skema transmisi mekanik.



Gambar 2. 24 Skema Transmisi Pulley

Transmisi daya berperan untuk menyalurkan daya dari poros turbin ke poros generator. Turbin memiliki putaran yang relatif lambat sehingga generator juga akan berputar lambat untuk membantu menghasilkan putaran turbin yang lambat tetapi putaran generator yang cepat maka digunakan transmisi mekanik pulley. Elemen-elemen transmisi daya yang digunakan terdiri dari sabuk (*belt*), pulley, kopleng, dan bantalan (*bearing*). *Belt* berfungsi untuk menyalurkan daya dari poros turbin ke poros generator, sedangkan pulley berfungsi untuk menaikkan putaran sehingga putaran generator sesuai dengan putaran daerah kerjanya. Sedangkan kopleng, bantalan dan clamp merupakan komponen pendukung lainnya.



Tabel 2.1 Spesifikasi Pulley

Spesifikasi	
Diameter pulley 1	3 cm
Diameter pulley 2	1 cm
Panjang belt	40 cm
Rasio	3 : 1

### 2.5.1 Prinsip Kerja Pulley

Secara umum prinsip kerja pulley sistem transmisi daya dapat dikelompokkan menjadi Sistem transmisi daya langsung (*direct drives*). Pada sistem transmisi daya langsung ini, daya dari poros turbin (Rotor) langsung ditransmisikan ke poros generator yang disatukan dengan kopling. Dengan demikian konstruksi sistem transmisi ini menjadi lebih kompak, mudah untuk melakukan perawatan, efisiensi tinggi dan tidak memerlukan elemen mesin lain seperti *belt* dan pulley kecuali sebuah kopling. Karena transmisi daya langsung, maka generator yang digunakan harus memiliki kecepatan (putaran) poros turbin (rotor), sekitar kurang lebih 15 % perbedaannya. Alternatif lain adalah menggunakan gear box untuk mengkoreksi rasio kecepatan (putaran) antara generator dan poros turbin.

Sistem transmisi daya dengan sabuk (*Belt*) Sabuk dipakai untuk memindahkan daya antara dua poros yang sejajar. Pemilihan jenis sabuk bergantung pada besar kecilnya daya yang akan ditransmisikan pada rotor. Sabuk yang digunakan umumnya jenis *flat belt* dan V belt. Flat belt banyak digunakan pada sistem transmisi daya mekanik untuk picohydro dengan daya yang besar. V. belt digunakan pada instalasi PLTPH dengan daya dibawah 5 kW. Penggunaan sistem transmisi sabuk ini memerlukan komponen pendukung seperti pulley, bantalan beserta asesorisnya. Pada sistem transmisi daya dengan sabuk, putaran turbin dan generator yang dihubungkan dapat berbeda dengan kata lain ada ratio putaran. Dengan demikian range generator yang akan digunakan lebih luas dan bervariasi. **Gambar 2.26** merupakan gambar pulley yang digunakan.

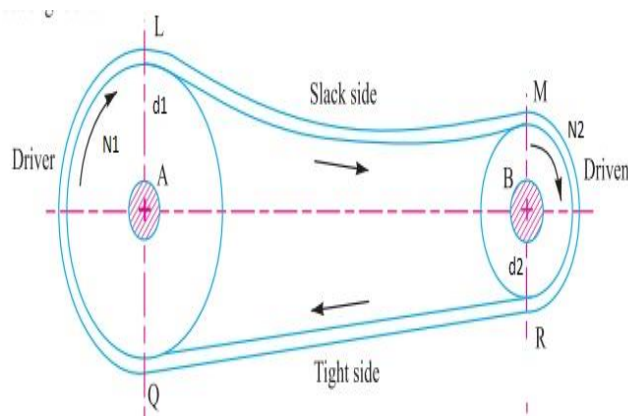


Gambar 2.25 *Timing Pulley dan Belt*

Sumber : <https://uk.rs-online.com>

### 2.5.2 Perhitungan *Belt* dan *Pulley*

Digunakan untuk mengetahui kecepatan pulley dan *belt*. **Gambar 2.27** merupakan perhitungan *timing* pulley dan *belt*.



Gambar 2. 26 Perhitungan *Pulley*

Rumus perhitungan *Pulley*

$$L = \pi (r_1 + r_2) + 2x + \frac{(r_1 - r_2)^2}{x} \quad \dots(2.6)$$

Keterangan:

x = jarak antar pusat puli

r1 = jari-jari puli 1

r2 = jari-jari puli 2

$\alpha$  = sudut kontak antara puli dan sabuk

## 2.6 Generator

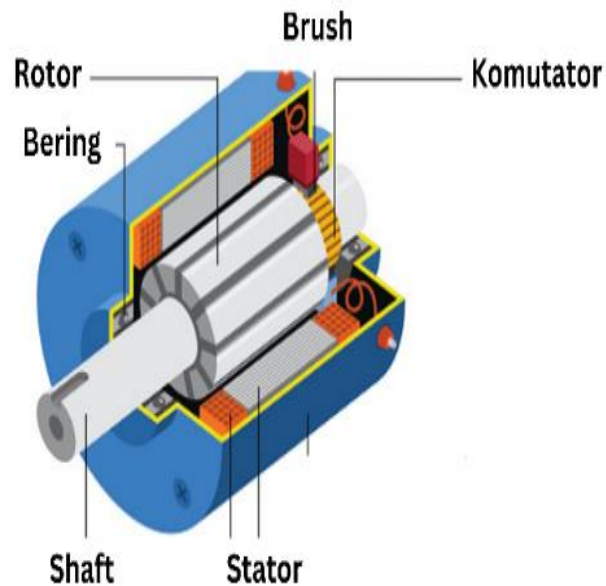
Generator ialah suatu mesin yang mengubah gaya mekanik (GGM) menjadi gaya listrik (GGL). Gaya mekanik disini digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet ataupun sebaliknya memutar magnet diantara kumparan kawat penghantar. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh generator tersebut adalah arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC), hal ini tergantung dari susunan atau konstruksi dari generator, serta tergantung dari sistem pengambilan arusnya. Dibawah ini merupakan skema proses perubahan energi yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 2.27 Perubahan Energi di Generator

### 2.6.1 Komponen Generator DC

Generator terdiri dari beberapa komponen yang memiliki fungsi masing-masing sehingga bisa menghasilkan energi listrik, jika ada komponen yang tidak berfungsi maka generator rusak dan tidak akan bisa digunakan. Berikut merupakan komponen generator dc.



Gambar 2.28 Struktur Generator

ROTOR : bagian Generator DC yang berputar, tersusun atas :

- Poros
- Inti
- Komutator
- Kumparan/Lilitan

STATOR : bagian Generator DC yang tersusun atas :

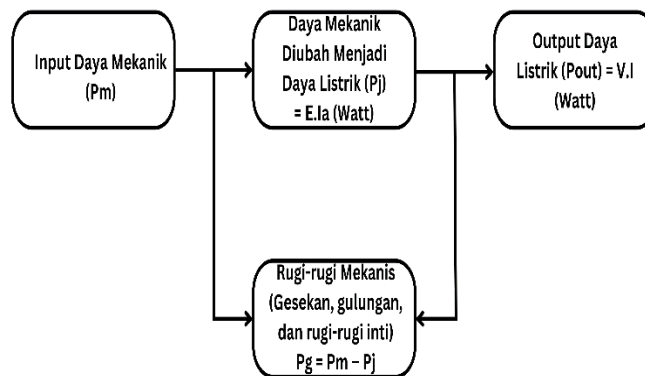
- Kerangka
- Kutub Utama dan Belitan
- Kutub Bantu dan Belitan
- Bantalan dan Sikat

Komutator terbuat dari batang tembaga yang dikeraskan yang berfungsi untuk mengumpulkan arus induksi dari konduktor jangkar dan mengkonversinya menjadi arus dc melalui *brush*. Dibawah ini adalah gambar struktur generator

## 2.6.2 Prinsip Kerja Generator DC

Pembangkitan tegangan yang dihasilkan oleh generator DC pada prinsipnya sama seperti generator AC, yaitu tegangan yang dihasilkan berupa tegangan ac. Hanya saja diperlukan satu proses penyearahan di dalam generator DC ini. Prinsip penyearahan yang dilakukan oleh komutator pada generator DC dilakukan secara mekanis. Pada dasarnya dalam prinsip penyearahan ini, terjadi perpindahan arah arus yang terjadi pada kumparan jangkar yang berputar pada medan magnet menyebabkan GGL induksi membentuk gelombang searah.

Pada prakteknya, hasil penyearahan ini tidak sepenuhnya linear karena adanya pengaruh induktansi kumparan dan tahanan sikat. Solusi yang bisa dilakukan untuk membuatnya linear yaitu dengan menetralkan ggm yg timbul akibat induktansi tersebut, salah satunya dengan menambahkan kutub bantu, dimana GGM tersebut sama dan berlawanan dengan GGM induktansi. Teori yang mendasari terbentuknya GGL induksi pada generator ialah Percobaan Faraday. Percobaan Faraday membuktikan bahwa pada sebuah kumparan akan dibangkitkan GGL Induksi apabila jumlah garis gaya yang diliputi oleh kumparan berubah-ubah. **Gambar 2.30** merupakan diagram proses aliran daya generator DC.



Gambar 2.29 Proses Aliran Daya Generator DC

Ada 3 hal pokok terkait dengan GGL Induksi ini, yaitu :

1. Adanya flux magnet yang dihasilkan oleh kutub-kutub magnet.
2. Adanya kawat penghantar yang merupakan tempat terbentuknya EMF.
3. Adanya perubahan flux magnet yang melewati kawat penghantar listrik.

Untuk mengetahui efisiensi dari masing-masing daya generator digunakan rumus sebagai berikut:

Rumus Efisiensi Mekanis

$$\eta_m = \frac{P_j}{P_m} \times 100\% \quad \dots(2.7)$$

Rumus Efisiensi Listrik

$$\eta_l = \frac{P_{out}}{P_j} \times 100\% \quad \dots(2.8)$$

Rumus Efisiensi Total

$$\eta_t = \frac{P_{out}}{P_m} \times 100\% \quad \dots(2.9)$$

## 2.7 Tachometer

Tachometer adalah alat ukur genggam yang digunakan untuk mengukur kecepatan benda yang berputar seperti operasi mesin, dalam satuan putaran per menit (RPM). Tachometer hadir dalam bentuk analog dan digital yang memainkan peran penting dalam menentukan output daya mesin. Tachometer dirancang untuk mengukur kecepatan putaran poros atau piringan saat mesin sedang bergerak.

Alat ukur tachometer ideal untuk memantau turbin dan kesehatan alat berat. Cara kerjanya yaitu, tachometer memancarkan cahaya inframerah yang diarahkan ke target reflektif. Ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan di dalam tachometer. Jika komponen berputar dengan baik, tachometer akan menghitung berapa kali alat ini menerima sinyal pantul yang memberikan pembacaan dalam RPM. **Gambar 2.31** dan **Gambar 2.32** merupakan alat tachometer untuk menghitung putaran rpm.



Gambar 2.30 Tachometer

Sumber : <https://alat-ukur-indonesia.com>

Berikut beberapa kegunaan dari tachometer:

- Pengukuran kecepatan putaran mesin, Nilai tersebut memberi tahu dengan memperhitungkan kecepatan rotasi poros sehingga mesin tidak mudah rusak.
- Kecepatan rotasi suatu roda / rol, kipas, turbin.
- Kecepatan perjalanan pada konveyor.
- Pengukuran panjang suatu produk misalnya : kawat, produk lembaran.

### 2.7.1 Prinsip Kerja Tachometer (Alat Pengukur RPM)

*Electronic* Tachometer Merupakan jenis tachometer modern dimana alat ini menampilkan pembacaan digital dan terkadang dilengkapi fitur kemampuan penyimpanan data. Alat ini menunjukkan Kecepatan (RPM) suatu mesin dengan mengukur rotasi poros mesin perangkat menyerupai generator listrik yang bervariasi sesuai dengan kecepatan putaran mesin tersebut dan kemudian arus listrik yang dihasilkan tersebut dikonversi ke dalam satuan RPM yang ditampilkan kepada pengguna melalui layar LED atau LCD.



Gambar 2.31 Tachometer Digital

Sumber : <https://alat-ukur-indonesia.com>

Tachometer digunakan untuk mengukur putaran turbin pelton dari air *aquaponic*. *Aquaponic* memiliki debit air yang rendah sehingga daya yang dihasilkan untuk memutar turbin pelton juga akan rendah. Untuk bisa menentukan nilai rpm digunakan alat tachometer agar mengetahui nilai putaran rpm yang akan memutar generator sehingga generator akan menghasilkan energi listrik