

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

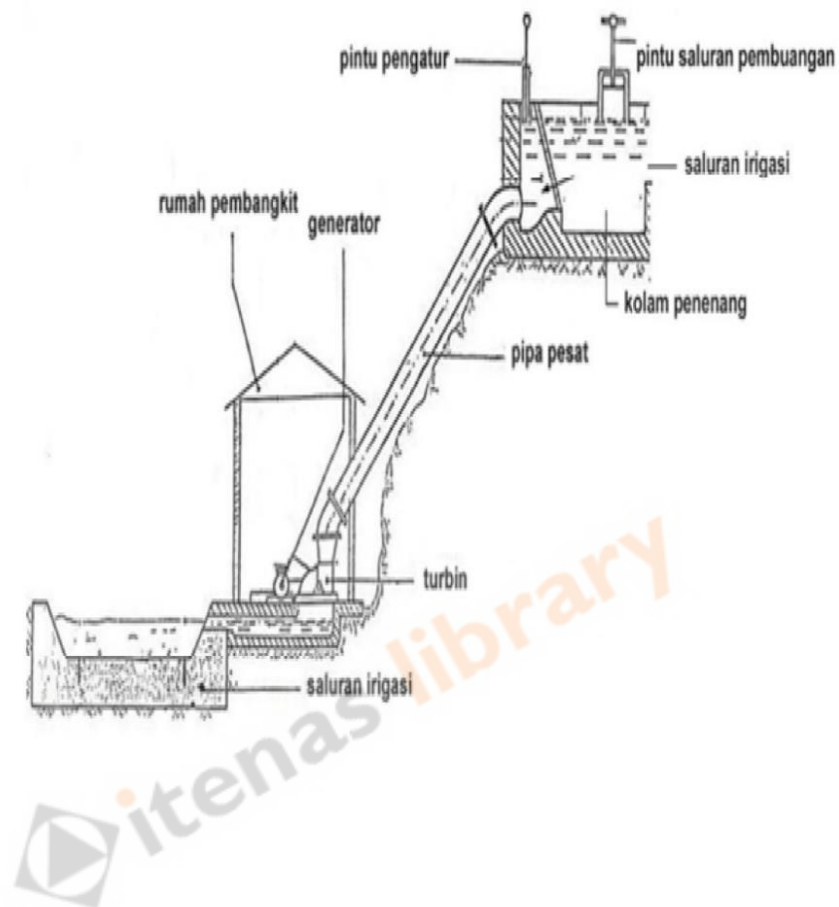
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga *Pico Hydro*

Pembangkit Listrik Tenaga *Pico Hydro* adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakya seperti pada saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air.

Pembangkit listrik tenaga air skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan daya listrik yang bisa dimanfaatkan.

Pembangkit Listrik Tenaga Air Pico-Hydro memiliki beberapa keunggulan, seperti :

- Biaya pembuatannya relatif murah karena mudah ditemukan di pasaran.
- Ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan bakar fosil sehingga perawatannya tidak terlalu rumit.
- Pembangunannya dapat dipadukan dengan pembangunan jaringan irigasi sehingga sangat cocok untuk daerah pedesaan.



Gambar 2.1 Prinsip Dasar PLTP
(sumber: AgusElektro, 2016)

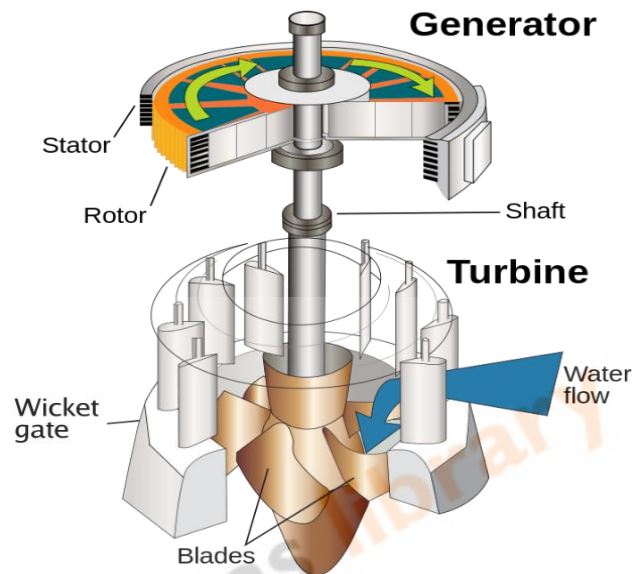
2.2 Turbin air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator.

Fungsi turbin adalah untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik, Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar.

Turbin air umumnya seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan air untuk

memutar turbin. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator. Turbin air dikembangkan pada awal abad ke-19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri sebelum adanya jaringan listrik.



Gambar 2.2 Turbin air
(Sumber : PurnomoAdi, 2013)

Berdasarkan letak pemasangan/instalasi Turbin, maka Turbin dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu ;

1. Turbin Vertikal
2. Turbin Horizontal

Ditinjau dari reaksi, maka turbin dapat dibagi menjadi ;

- Turbin Reaksi

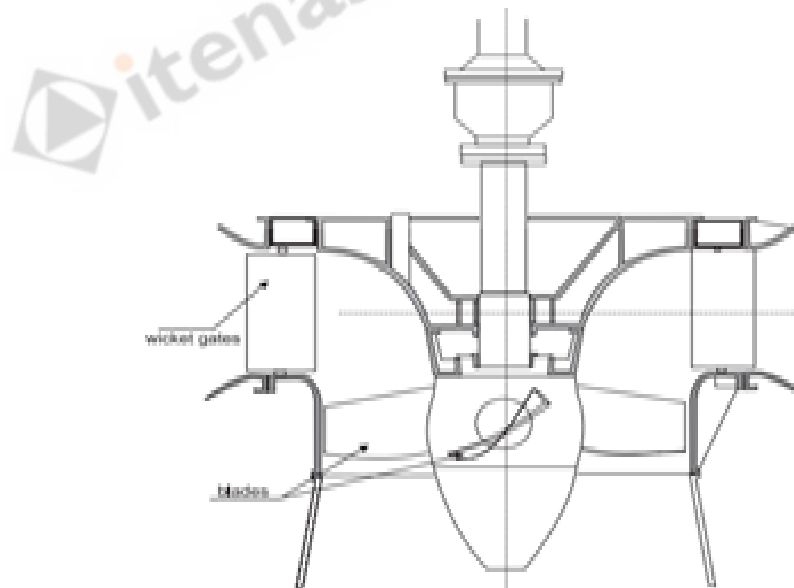
Turbin reaksi ialah Turbin dimana air yang dilewati *runner* mengalami penurunan tekanan baik pada sudut pengatur maupun pada runner. Beberapa Jenis Turbin Reaksi ialah Turbin Francis, Turbin Propeller dan Turbin Kaplan.

- Turbin Impuls

Turbin Impuls ialah Turbin dimana proses penurunan tekanan airnya terutama terjadi didalam distributor/noselnya dan tidak terjadi pada sudu - sudu jalannya. Salah satu jenis Turbin Impuls adalah Turbin Pelton.

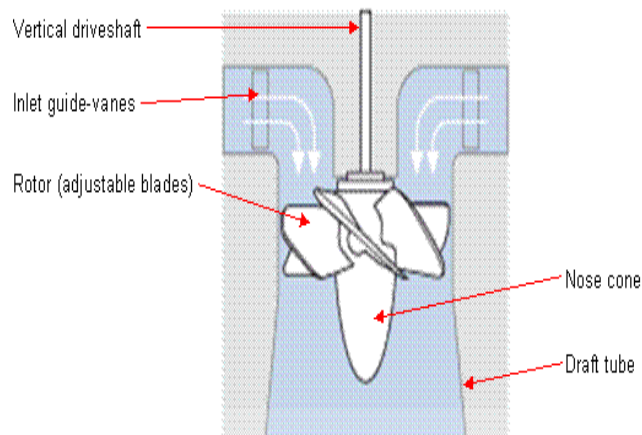
Dalam hal lain suatu Turbin dapat dibagi lagi berdasarkan arah aliran fluida kerjanya/ arah air nya yaitu;

- Turbin Radial : yaitu turbin dimana aliran air yang melewati runner dalam arah radial. Salah satu jenis turbin radial ialah Turbin Pelton.
- Turbin Axial : yaitu turbin dimana aliran air yang melewati runner dalam arah aksial. Salah satu jenis turbin axial ialah Turbin Turbin Propeller dan Turbin Kaplan.



Gambar 2.3 Turbin Kaplan *Double regulated*
(Sumber : PurnomoAdi, 2013)

2.2.1 Turbin Kaplan



Gambar 2.4 Turbin Kaplan
(Sumber : PurnomoAdi, 2013)

Turbin Kaplan adalah jenis turbin reaksi dengan *axial flow* sejajar dengan poros turbin, umumnya digunakan untuk *head* yang rendah (2-40 m), turbin kaplan memiliki sudu turbin yang dapat di atur dengan atau pun tanpa *guide vane*, jika sudu turbin dan *guide vane* yang dapat diatur adalah jenis *double-regulated* sedangkan *guide vanes* yang tidak dapat diatur adalah jenis *single regulated* turbin kaplan dapat menyesuaikan terhadap kondisi debit air, untuk *propeller* sudu turbinnya tidak dapat di atur atau *fix position* dan digunakan pada debit dan *head* yang constant.

Turbin kaplan banyak digunakan pada instalasi pembangkit listrik tenaga air di daerah sungai karena memiliki kecepatan spesifik yang tinggi dibandingkan dengan turbin dengan jenis turbin impuls dan bekerja pada kondisi head yang rendah dengan debit air yang cukup besar, semakin tinggi kecepatan putar maka dimensi dari turbin kaplan akan semakin kecil dan dapat di kopel dengan generator,

memiliki efisiensi yang tinggi karena turbin kaplan memiliki sudu yang dapat menyesuaikan terhadap beban yang ada.

Turbin kaplan jenis *double regulated* merupakan turbin *vertical axis* dengan *casing* yang berbentuk *scroll* memiliki gerbang yang berbentuk *wicket* berfungsi untuk mengarahkan aliran secara radial, air masuk diarahkan secara radial oleh *wicket gate* sehingga sebelum masuk ke turbin pada arah *axial* mendapatkan sudut masuk yang benar, untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi sudu-sudu turbin dapat diatur disesuaikan dengan kecepatan aliran yang masuk ke turbin, pengaturan sudu turbin dapat dilakukan pada saat turbin beroperasi.

2.3 Generator

Generator Listrik adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik. Energi yang menggerakkan generator sendiri sumbernya bermacam macam.

Pada pembangkit listrik tenaga angin misalnya generator bergerak karena adanya kincir yang berputar karena energi angin.

Demikian pula pada pembangkit listrik tenaga air maka yang menggerakkan adalah energi gerak dari air. Sedang pada pembangkit listrik tenaga diesel gerak dari generator didapatkan dari proses pembakaran bahan bakar diesel

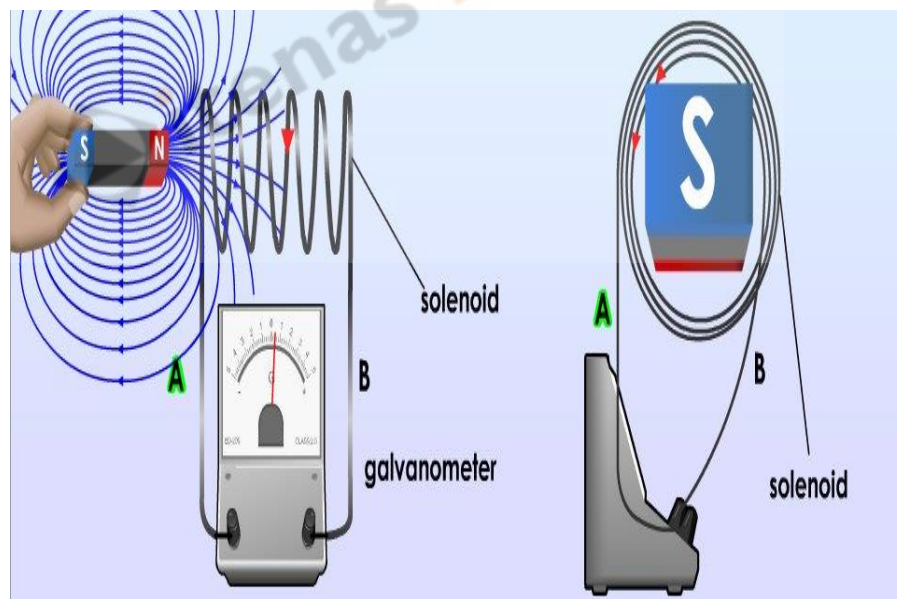


Gambar 2.5 Generator Listrik
(Sumber: SuryonoHendry, 2015)

Generator mengkonversi energi dari bentuk energi mekanik menjadi energi listrik yang berlangsung di daerah medan magnet. Karena adanya energi mekanik yang diberikan pada generator, maka timbul arus listrik dalam suatu penghantar akibat perubahan medan magnet di sekitar kawat penghantar tersebut. Dalam hukum Faraday, dikatakan bahwa bila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet yang berubah-ubah, maka dalam kawat tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik (GGL).

GGL induksi yang ditimbulkan dapat diperbesar dengan cara memperbanyak lilitan kumparan, menggunakan magnet permanen yang lebih kuat, mempercepat putaran kumparan, dan menyisipkan inti besi lunak ke dalam kumparan (Asy'ari *et al*, 2012). Arus listrik yang terjadi disebut arus imbas atau arus induksi.

Gambar 2.6 memperlihatkan timbulnya gaya gerak listrik akibat perubahan medan magnet.



Gambar 2.6 Timbulnya GGL akibat perubahan medan magnet
(Sumber: Crowellb, 2006)

Jarum *galvanometer* menyimpang selama magnet batang digerakkan mendekati atau menjauhi kumparan dan sebaliknya kumparan yang digerakkan mendekati atau menjauhi magnet batang, yang berarti arus induksi timbul selama terjadi perubahan garis-garis gaya medan magnet dalam kumparan (*solenoid*). Sedangkan bila kedua-duanya diam, jarum *galvanometer* tidak menyimpang, yang berarti tidak terjadi arus induksi. Arus induksi timbul karena adanya beda potensial antara ujung-ujung kumparan yang disebut dengan Gaya Gerak Listrik induksi (GGL induksi).

Generator akan berfungsi apabila memiliki kumparan medan yang berguna untuk menghasilkan medan magnet, kumparan jangkar yang berfungsi sebagai pengibas GGL pada konduktor – konduktor yang terletak pada alur jangkar serta celah udara yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet.

Terdapat dua jenis konstruksi dari generator, jenis medan diam dan medan magnet berputar. Pada medan magnet diam secara umum kapasitas Kilovolts ampere relatif kecil dan ukuran kerja tegangan rendah, jenis ini mirip dengan generator DC kecuali terdapat slips ring sebagai alat untuk pengganti komutator. Sedangkan pada generator jenis medan magnet berputar dapat menyederhanakan masalah pengisolasian tegangan.

Siklus tegangan yang dibangkitkan tergantung pada jumlah kutub yang digunakan pada magnet, pada generator yang menggunakan dua kutub dapat membangkitkan satu siklus tegangan sedangkan pada generator dengan empat kutub dapat menghasilkan dua siklus tegangan. Sehingga terdapat perbedaan antara derajat mekanis dan derajat listrik. Derajat mekanis adalah apabila kumparan atau penghantar jangkar berputar satu kali penuh atau 360° mekanis sedangkan derajat listrik adalah jika GGL atau arus bolak-balik melewati satu siklus berarti telah melewati 360° waktu (Djatkiko, 2007). Bentuk generator ditunjukkan seperti pada Gambar 2.7 dan 2.8 di bawah ini:



Gambar 2.7 Tampak luar generator
(Sumber: SuryonoHendry, 2015)



Gambar 2.8 Tampak gulungan generator
(Sumber: SuryonoHendry, 2015)

2.3.1 Jenis – Jenis Generator

Secara garis besar, Generator terbagi menjadi dua yaitu dari arah arus yang dihasilkan sebagai berikut.

2.3.1.1 Generator AC (*alternator*)

Generator arus bolak-balik (AC) atau disebut dengan alternator adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik (gerak) menjadi energy listrik (elektrik) dengan perantara induksi medan magnet.

Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik.

Listrik AC dihasilkan dari hasil induksi elektromagnetik, sebuah belitan kawat yang berdekatan dengan kutub magnet permanen.

Kutub permanen diputar pada sumbunya, maka diujung-ujung belitan timbul tegangan listrik yang ditunjukkan oleh penunjukan jarum Volt meter.

Jarum Volt meter bergoyang kearah kanan dan kekiri, ini menunjukkan satu waktu polaritasnya positif, satu waktu polaritasnya negatif. Perubahan energi ini terjadi karena adanya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator).

Kumparan medan pada generator AC terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkarnya terletak pada stator. Contoh generator AC dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Generator AC (*alternating current*)
(Sumber: SuryonoHendry, 2015)

Secara umum konstruksi generator AC terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk simetris dan silindris.

Selain itu generator AC memiliki celah udara ruangan stator dan rotor yang berfungsi sebagai tempat terjadinya fluksi atau induksi energi listrik dari rotor ke stator.

Adapun konstruksi generator AC adalah sebagai berikut.

- a) Rangka stator terbuat dari besi tuang, yang merupakan rumah stator tersebut.
- b) Stator adalah bagian yang diam. Memiliki alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi.



Gambar 2.10 Inti stator dan alur pada stator
(Sumber: GoeritnoArif,2016)

Rotor adalah bagian yang berputar, pada bagian ini terdapat kutub - kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat.



Gambar 2.11 Rotor
(Sumber: GoeritnoArif,2016)

Cincin geser, terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slipring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor.

Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan disuplai oleh arus searah sehingga menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu. Kemudian penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar.

Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan menginduksikan tegangan tiga fasa pada kumparan jangkar sehingga akan menimbulkan medanputar pada stator. Perputaran tersebut menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu.

Adanya perubahan fluks magnetic yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

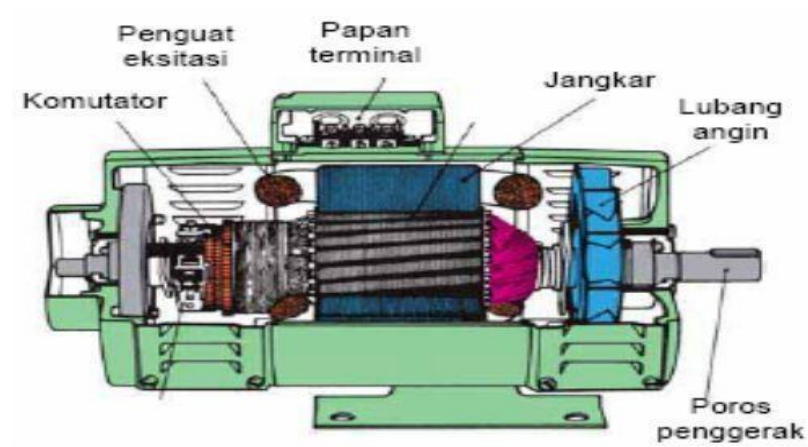
2.3.1.2 Generator DC

Generator DC atau arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen generator AC.

Secara garis besar generator arus searah adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi mekanik di pergunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar didalam medan magnet.

Berdasarkan hukum Faraday, maka pada kawat penghantar akan timbul ggl induksi yang besarnya sebanding dengan laju perubahan fluksi yang dilingkupi oleh kawat penghantar. Bila kumparan kawat tersebut merupakan rangkaian tertutup, maka akan timbul arus induksi, yang membedakannya dengan generator AC yaitu terletak pada komponen penyearah yang terdapat didalamnya yang disebut dengan komutator dan sikat.

Generator arus searah memiliki konstruksi yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian yang berputar (rotor) dan bagian yang diam (stator). Stator adalah rangka, komponen magnet dan komponen sikat. Sedangkan yang termasuk rotor adalah jangkar, kumparan jangkar dan komutator. Secara umum konstruksi generator arus searah adalah dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Konstruksi generator arus searah
(Sumber: SuryonoArif, 2015)

2.3.2 Komponen Generator

Komponen utama penyusun generator terdiri atas dua bagian utama yaitu sebagai berikut :

1. Stator

Stator terdiri atas tiga bagian komponen utama yaitu sebagai berikut.

a. Rangka Stator.

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menjaga jangkar generator yang terbuat dari besi tuang dan dilengkapi dengan slot-slot (parit) sebagai tempat melekatnya kumparan jangkar. Rangka stator memiliki celah yang berfungsi sebagai ventilasi udara. Sehingga, udara dapat keluar masuk dalam inti stator sebagai pendingin.

b. Inti Stator.

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik yang terpasang pada kerangka stator.

Laminasi-laminasi diisolasi atau sama lain dan mempunyai jarak antar laminasi yang memungkinkan udara pendingin melewatinya. Disekeliling inti terdapat slot-slot tempat melekatkan konduktor atau belitan jangkar.

c. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar).

Kumputan jangkar merupakan kumputan tempat timbulnya GGL induksi. Melalui terminal output kumputan jangkar terminal output generator yang diperoleh energi listrik yang siap untuk disalurkan.

2. Rotor

Rotor terdiri dari 3 bagian utama yaitu sebagai berikut.

a. Slip ring

Slip ring ini adalah bagian yang dihubungkan ke sumber DC daya luar melalui sikat (brush) yang ditempatkan menempel pada *slip ring*. Sikat ini merupakan batang grafit yang terbuat dari senyawa karbon yang bersifat konduktif dan memiliki koefisien gaya gesek yang sangat rendah.

b. Kumputan rotor atau kumputan medan

Kumputan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumputan medan ini ditempatkan di bagian rotor dari generator. Kumputan ini mendapatkan arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

c. Poros rotor

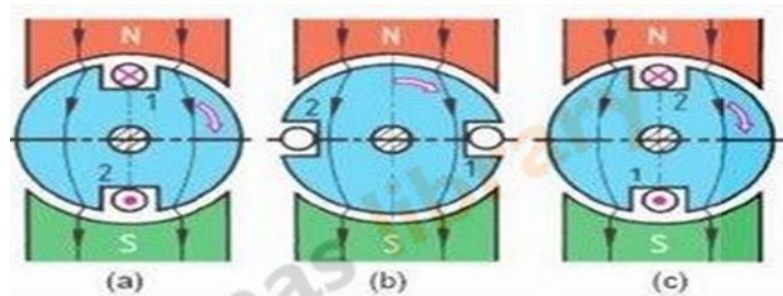
Poros rotor merupakan tempat peletakan kumputan medan dimana pada poros rotor tersebut terdapat teah berbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor sehingga penempatan

kumpulan medan dapat diatur dengan rancangan yang dikehendaki.

2.3.3 Prinsip Kerja Generator

Pembangkitan tegangan induksi oleh sebuah generator diperoleh melalui dua cara yaitu dengan menggunakan cincin seret yang akan menghasilkan tegangan induksi bolak balik.

Kemudian dengan menggunakan komutator yang akan menghasilkan tegangan DC. Proses pembangkitan tegangan induksi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.13 berikut.



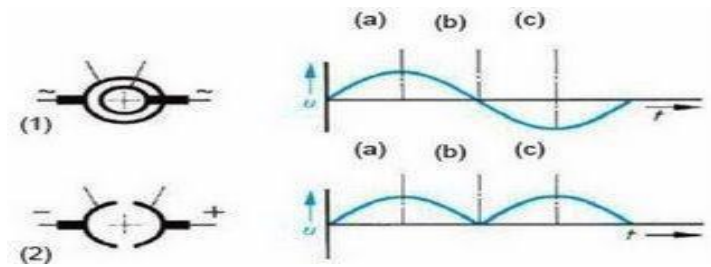
Gambar 2.13. Pembangkitan tegangan induksi.

(Sumber : AzisTri, 2015)

Jika rotor diputar dalam pengaruh medan magnet, maka akan terjadi perpotongan medan magnet oleh lilitan kawat pada rotor. Hal ini akan menimbulkan tegangan induksi.

Tegangan induksi terbesar terjadi saat rotor menempati posisi seperti Gambar 2.13 (a) dan (c). Pada posisi ini terjadi perpotongan medan magnet secara maksimum oleh penghantar.

Sedangkan posisi jangkar pada Gambar 2.13.(b), akan menghasilkan tegangan induksi nol. Hal ini karena tidak adanya perpotongan medan magnet dengan penghantar pada jangkar atau rotor. Daerah medan ini disebut daerah netral.



Gambar 2.14 Tegangan rotor yang dihasilkan melalui cincin seret komutator

(Sumber : AzisTri, 2015)

Jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan slip-ring berupa dua cincin (disebut juga dengan cincin seret), seperti ditunjukkan Gambar 2.14. (1) maka dihasilkan listrik AC (arus bolak-balik) berbentuk sinusoidal.

Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan komutator satu cincin Gambar 2.14 (2) dengan dua belahan, maka dihasilkan listrik DC dengan dua gelombang positif. Rotor dari generator DC akan menghasilkan tegangan induksi bolak-balik.

Sebuah komutator berfungsi sebagai penyearah tegangan AC. Besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sebuah generator DC, sebanding dengan banyaknya putaran dan besarnya arus eksitasi (arus penguat medan).

2.4 Kavitasi



Gambar 2.15 Akibat dari fenomena Kavitasi
(Sumber: EvaGunawan, 2009)

Kavitasi adalah fenomena perubahan fase uap dari zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang hingga di bawah tekanan uap jenuhnya. sehingga bisa menimbulkan erosi pada komponen yang mengalami tumbukan dengan zat cair tersebut

Air pada tekanan 1 atm akan mendidih dan menjadi uap pada suhu 100 derajat celcius. Tetapi jika tekanan direndahkan maka air akan bisa mendidih pada temperatur yang lebih rendah bahkan jika tekanannya cukup rendah maka air bisa mendidih pada suhu kamar.

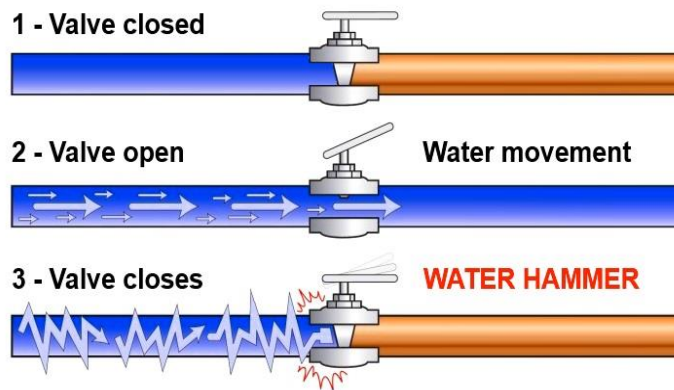
Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Hal ini dapat terjadi pada zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa maupun didalam pipa.

Tempat-tempat yang bertekanan rendah dan/atau yang berkecepatan tinggi di dalam aliran, maka akan sangat rawan mengalami kavitasi. Misalnya pada pompa maka bagian yang akan mudah mengalami kavitasi adalah pada sisi isapnya.

Gelembung hasil dari kavitasi ini akan terbawa aliran fluida sampai akhirnya berada pada daerah yang mempunyai tekanan lebih besar daripada tekanan uap jenuh cairan. Pada daerah tersebut gelembung tersebut akan pecah dan akan menyebabkan *shock* pada dinding di dekatnya. Cairan akan masuk secara tiba-tiba ke ruangan yang terbentuk akibat pecahnya gelembung uap tadi sehingga mengakibatkan tumbukan.

Peristiwa ini akan menyebabkan terjadinya kerusakan mekanis pada pompa atau turbin sehingga bisa menyebabkan dinding akan berlubang atau dikenal dengan istilah *bopeng*. Peristiwa ini disebut dengan erosi kavitasi sebagai akibat dari tumbukan gelembung-gelembung uap yang pecah pada dinding secara terus menerus.

2.5 Water Hammer



Gambar 2.16 Ilustrasi Fenomena Water Hammer
(Sumber: WallsMath, 2019)

Bila kecepatan aliran massa air di dalam saluran pipa dikurangi atau dihentikan sama sekali, maka akan menimbulkan kenaikan tekanan di dalam pipa tersebut.

Tekanan ini terjadi karena adanya kejutan aliran akibat perubahan energi kinetis massa air yang mengalir menjadi energi regangan. Fenomena ini dikenal dengan nama pukulan air (water hammer). Energi regangan yang terjadi disamping diserap oleh massa air, juga diserap oleh dinding pipa untuk proses kompresi baik secara longitudinal maupun secara tangensial.

Proses kompresi ini menjalar disepanjang pipa sebagai gelombang tekanan dan bergerak dengan kecepatan gelombang suara melalui medium air di dalam saluran pipa.

Kenaikan tekanan yang menimbulkan kompresi pada dinding saluran pipa dapat menyebabkan saluran pipa pecah. Karena itu perlu dibangun suatu konstruksi instalasi pipa yang dapat mengurangi kenaikan tekanan, sehingga efek water hammer yang mungkin timbul dapat dikurangi.

2.6 RUMUS YANG DIGUNAKAN

1. Mencari Daya Air

$$P_{water} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

P_{water} = Daya air (Watt)

ρ = Massa jenis fluida ($1000 \frac{kg}{m^3}$)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \frac{m}{s^2}$)

Q = Debit ($\frac{m^3}{s}$)

H = Head (m)

2. Mencari Torsi

$$T = \frac{Fgr}{0.8}$$

T = Torsi (Nm)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \frac{m}{s^2}$)

r = Panjang lengan (m) (0.044 m)

F = Massa Pemberat (Kg)

3. Mencari Daya Keluaran Turbin

$$P_T = \frac{2\pi nT}{60}$$

P_T = Daya Keluaran Turbin (Watt)

n = Putaran (rpm)

T = Torsi (Nm)

4. Mencari Efisiensi Sistem

$$\eta_{sys} = \frac{P_T}{P_{water}}$$