

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik adalah yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat diaplikasikan pada saluran irigasi, sungai, dan air terjun dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan dan jumlah debit air tersebut (Muchlisin Riadi, 2016). Semakin besar kapasitas aliran dan ketinggian, maka semakin besar daya yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe	Kapasitas (kW)
Mikro Hidro	< 100
Mini Hidro	101-2.000
Small Hidro	2.001-25.000
Makro Hidro	>25.000

(Sumber: Teacher Manual Diploma Hydro Power)

PLTMH dapat menjadi salah satu energi listrik alternatif yang ramah lingkungan dan dapat menjangkau daerah yang sulit dijangkau. Mikrohidro dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir di suatu tempat dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* sebab instalasi pembangkit listrik ini menggunakan sumber daya yang disediakan oleh alam dan ramah lingkungan (Very Dwiyanto, 2015).

Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energi, kincir, dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan

dengan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi/rumah kincir. Di rumah instalasi, air tersebut menabrak kincir dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros kincir. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling, lalu dari generator dihasilkan energi listrik yang selanjutnya akan masuk ke sistem kontrol arus listrik, sebelum dialirkan ke rumah-rumah (Riski Ekocahya, 2016).

2.2 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh yang ada pada air terjun. Energi ini selanjutnya menggerakkan kincir air, kemudian kincir tersebut dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Hubungan antara kincir dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (*belt*) atau sistem *gear box*. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt* sedangkan *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh generator ini dialirkan ke rumah-rumah (Daniel, 2012).

Hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan. Generator yang dipakai jangan sampai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada karena akan menyebabkan kerusakan.

2.3 Komponen-Komponen Utama Simulasi Prototipe PLTMH

Dalam merancang simulasi prototipe PLTMH, digunakan komponen-komponen berupa pompa, kincir air, nozel, dan generator seperti yang dijelaskan sebagai berikut.

2.3.1 Pompa

Pada PLTMH di lapangan, diperlukan debit air yang besar agar kincir air dapat berputar dan menghasilkan daya listrik. Dalam prototipe ini, digunakan pompa sebagai simulasi dari air terjun untuk meningkatkan debit air sehingga dapat memutar kincir dan menghasilkan daya listrik.

A. Pengertian Pompa

Pompa adalah jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida melalui pipa dari satu tempat ke tempat lain. Dalam menjalankan fungsinya tersebut, pompa mengubah energi mekanik poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida (Sularso, 2000).

Spesifikasi pompa dinyatakan dengan jumlah fluida yang dapat dialirkan per satuan waktu (kapasitas) dan energi angkat (*head*) dari pompa (Sularso, 2000). Spesifikasi pompa terdiri dari :

a. Kapasitas (Q)

Merupakan volum fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu. Dalam pengujian ini pengukuran dari kapasitas dilakukan dengan menggunakan venturimeter. Satuan dari kapasitas (Q) adalah m^3/s , liter/s, atau ft^3/s .

b. Putaran (n)

Putaran disini adalah putaran poros (impeler) pompa, dinyatakan dalam satuan rpm. Putaran diukur dengan menggunakan tachometer.

c. Torsi (T)

Torsi didapatkan dari pengukuran gaya dengan menggunakan dinamometer, kemudian hasilnya dikalikan dengan lengan pengukur momen (L). Satuan dari torsi adalah Nm.

d. Daya (P)

Daya dibagi menjadi dua macam, yaitu daya poros yang merupakan daya dari motor listrik, serta daya air yang dihasilkan oleh pompa. Satuan daya adalah Watt.

e. Efisiensi (η)

Merupakan perbandingan antara daya air yang dihasilkan dari pompa, dengan daya poros dari motor listrik.

B. Klasifikasi Pompa

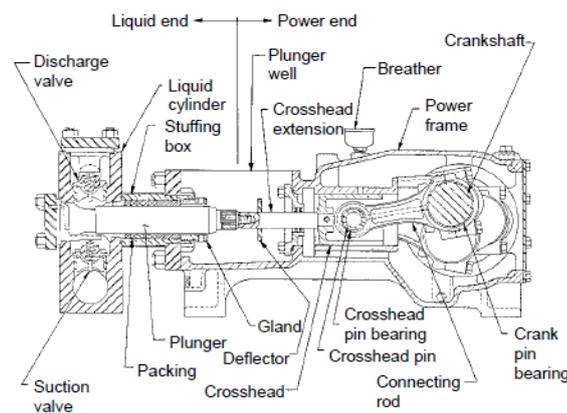
a. *Positive Displacement Pump*

Merupakan pompa yang menghasilkan kapasitas yang *intermittent*, karena fluida ditekan di dalam elemen-elemen pompa dengan volume tertentu. Ketika

fluida masuk, langsung dipindahkan ke sisi buang sehingga tidak ada kebocoran (aliran balik) dari sisi buang ke sisi masuk. Kapasitas dari pompa ini kurang lebih berbanding lurus dengan jumlah putaran atau banyaknya gerak bolak-balik pada tiap satuan waktu dari poros atau engkol yang menggerakkan. Pompa jenis ini menghasilkan *head* yang tinggi dengan kapasitas rendah. Pompa ini dibagi lagi menjadi:

1. *Reciprocating Pump* (pompa torak)

Pada pompa ini, tekanan dihasilkan oleh gerak bolak-balik translasi dari elemen-elemennya. Pompa jenis ini dilengkapi dengan katup masuk dan katup buang yang mengatur aliran fluida keluar atau masuk ruang kerja. Katup-katup ini bekerja secara otomatis dan derajat pembukaannya tergantung pada fluida yang dihasilkan. Tekanan yang dihasilkan sangat tinggi, yaitu lebih dari 10 atm. Kecepatan putar rendah yaitu 250 sampai 500 rpm. Oleh karena itu, dimensinya besar dan sangat berat. Pompa ini banyak dipakai pada pabrik minyak dan industri kimia untuk memompa cairan kental, dan untuk pompa air ketel pada PLTU. Skema pompa torak ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema pompa torak.

(Sumber: Sularso, 2000)

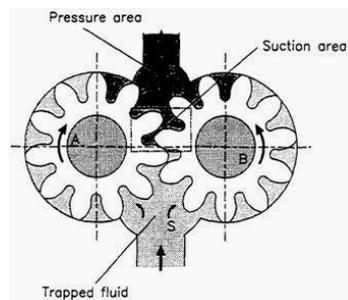
2. *Rotary Pump*

Tekanan yang dihasilkan dari pompa ini adalah akibat gerak putar dari elemen-elemennya atau gerak gabungan berputar. Prinsip kerjanya adalah fluida yang masuk ditekan oleh elemen-elemen yang memindahkannya ke

sisi buang kemudian menekannya ke pipa tekan. Karena tidak memiliki katup-katup, maka pompa ini dapat bekerja terbalik, sebagai pompa maupun sebagai motor. Pompa ini bekerja pada putaran yang tinggi sampai dengan 5000 rpm atau lebih. Karena keuntungan tersebut, pompa ini banyak dipakai untuk pompa pelumas dan pada *hydraulic power transmission*. Jenis pompa ini adalah:

a. *Gear Pump* (Pompa Roda Gigi)

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya dua buah roda gigi berpasangan yang terletak dalam rumah pompa lalu menghisap dan menekan fluida yang dipompakan. Fluida yang mengisi ruang antar gigi ditekan ke sisi buang. Akibat diisinya ruang antar sisi tersebut maka pompa ini dapat beroperasi. Aplikasi dari pompa ini adalah pada sistem pelumasan, karena pompa ini menghasilkan *head* yang tinggi dan debit yang rendah. Contoh pompa roda gigi terdapat pada gambar 2.

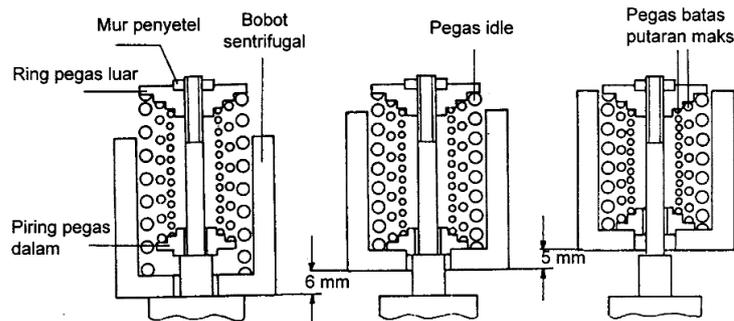


Gambar 2. Pompa roda gigi.

(Sumber: Sularso, 2000)

b. Pompa Piston

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya selubung putar menyebabkan piston bergerak sesuai dengan posisi ujung piston di atas piring dakian. Fluida terhisap ke dalam silinder dan ditekan ke saluran buang akibat gerakan naik turun piston. Fungsi dari pompa ini adalah untuk pemenuhan kebutuhan *head* tinggi dan kapasitas rendah. Skema pompa piston ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Skema pompa piston.

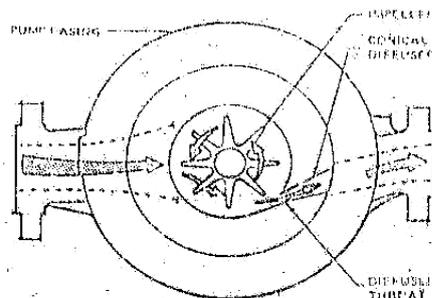
(Sumber: Sularso, 2000)

b. *Dynamic Pump*

Merupakan pompa yang ruang kerjanya tidak berubah selama pompa bekerja. Untuk mengubah kenaikan tekanan, tidak harus mengubah volume aliran fluida. Dalam pompa ini terjadi perubahan energi, yaitu dari energi mekanik menjadi energi kinetic dan kemudian menjadi energi potensial. Pompa ini memiliki elemen utama sebuah rotor dengan suatu impeler yang berputar dengan kecepatan tinggi. Yang termasuk di dalam jenis pompa ini adalah pompa aksial dan pompa sentrifugal, antara lain:

1. Pompa Aksial

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya impeler akan menghisap fluida yang dipompakan dan menekannya ke sisi tekan dalam arah aksial. Pompa ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan *head* rendah dan kapasitas tinggi, seperti pada sistem pengairan. Contoh pompa aksial terdapat pada gambar 4.



Gambar 4. Pompa aksial

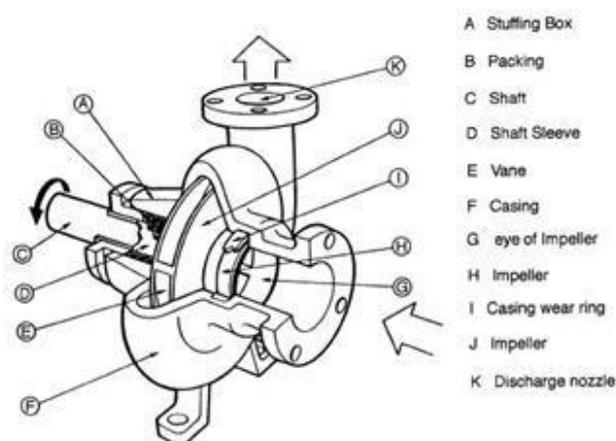
(Sumber: Sularso, 2000)

2. Pompa Sentrifugal

Elemen pokok dari pompa ini adalah sebuah rotor dengan sudu-sudu yang berputar pada kecepatan tinggi. Fluida yang masuk dipercepat oleh impeler yang menaikkan tekanan maupun kecepatannya, dan melempar fluida keluar melalui *volute* atau rumah siput. Pompa ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan *head* medium sampai tinggi dengan kapasitas aliran medium. Dalam aplikasinya, pompa sentrifugal banyak digunakan untuk proses pengisian air pada ketel dan pompa rumah tangga.

Secara garis besar, pompa sentrifugal bekerja dengan cara mengubah energi mekanik dari poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida. Agar bisa bekerja, pompa membutuhkan daya dari mesin penggerak pompa. Berputarnya impeler menyebabkan tekanan vakum pada sisi isap pompa, akibatnya fluida yang mengalir terhisap masuk ke dalam impeler. Di dalam impeler, fluida mendapatkan percepatan sedemikian rupa dan terkena gaya sentrifugal, sehingga fluida mengalir keluar dari impeler dengan kecepatan tertentu. Kecepatan keluar fluida ini selanjutnya akan berkurang dan berubah menjadi energi tekanan di dalam rumah pompa. Besarnya tekanan yang timbul tergantung pada besarnya kecepatan fluida.

Bagian-bagian dari pompa sentrifugal, dapat dilihat seperti gambar 5. berikut:



Gambar 5. Penampang memanjang pompa sentrifugal

(Sumber: Sularso, 2000)

a. Impeler

Merupakan bagian yang berputar dari pompa dan memberikan daya pada air, sehingga air akan mendapatkan energi spesifik berupa kecepatan dan tekanan. Di dalam rumah siput, kecepatan air secara berangsur-angsur diubah menjadi tekanan statis.

b. Rumah Pompa

Rumah pompa memiliki beberapa fungsi, antara lain:

1. Berfungsi sebagai pengarah fluida yang dilemparkan impeler. Akibat gaya sentrifugal yang menuju pompa tekan, sebagian energi kinetik fluida diubah menjadi tekanan.
2. Menutup impeler pada penghisapan dan pengiriman pada ujung dan sehingga berbentuk tangki tekanan.
3. Memberikan media pendukung dan bantalan poros untuk batang torak dan impeler.

c. Poros Pompa

Sebagai penerus putaran penggerak kepada impeler dan pompa. Poros pompa dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Poros pompa datar atau horizontal
2. Poros pompa tegak atau vertikal

d. Cincin Penahan Keausan atau Cincin Perapat (*Waring Ring*)

Untuk mencegah keausan rumah pompa dan impeler pada sambungan yang bergerak (*running joint*), maka dipasang cincin penahan keausan (*waring ring*) yang disebut juga cincin rumah pompa atau cincin perapat.

e. Bantalan Poros

Bantalan yang banyak dipakai pada pompa sentrifugal adalah bantalan anti gesek, selongsong, rol bola, dan bantalan *kingsbury*. Bantalan anti gesek dapat berupa baris tunggal atau ganda. Bantalan rol banyak dipakai untuk poros pompa berukuran besar.

f. Selongsong Poros

Berfungsi untuk mencegah kebocoran udara ke dalam pompa bila beroperasi dengan tinggi isap (*suction lift*) dan untuk mendistribusikan cairan perapat secara merata di sekeliling ruang cincin (*anular space*) antara lubang peti dan permukaan selongsong poros. Selongsong poros disebut juga sangkar perapat atau cincin *lantern*. Selongsong poros ini menerima cairan yang bertekanan dari pompa atau sumber tersendiri lainnya. Kadang-kadang digunakan minyak gemuk sebagai medium perapat apabila cairan yang bersih tidak tersedia atau tidak dapat dipakai (pompa air kotor).

g. Peti Gasket

Berfungsi untuk mencegah udara bocor ke dalam rumah pompa bila tekanan di dalamnya berada di bawah tekanan atmosfer.

h. Perapat Poros (Perapat Mekanis)

Digunakan untuk mencegah kebocoran di sekeliling poros. Perapat poros ini juga dipakai apabila peti gasket tidak dapat mencegah kebocoran secara maksimal. Permukaan perapat tegak lurus terhadap poros pompa dan biasanya terdiri dari dua bagian yang dihaluskan dan dilumasi. Perapat poros dibedakan menjadi dua, yaitu jenis dalam dan jenis luar. Jenis luar dipakai apabila cairan yang dipompa berpasir dan tidak diinginkan adanya kebocoran pada peti gasket. Jenis dalam digunakan untuk cairan yang mudah menguap.

(Sumber: Sularso dan Haruo Taraha Book)

C. Konsep Dasar Pompa

1. fluida

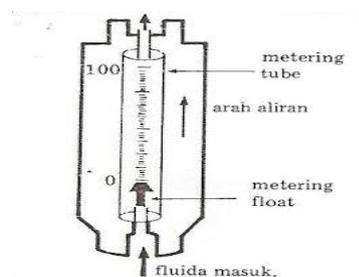
Fluida didefinisikan sebagai zat atau substansi yang akan mengalami deformasi secara berkesinambungan apabila terkena gaya geser. Berdasarkan kemampuan memampatnya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. Berdasarkan sifat alirannya fluida dibagi menjadi 3 yaitu aliran laminar, transisi dan turbulen. Berdasarkan hubungan antara laju deformasi

dan tegangan gesernya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *Newtonian fluid* dan *non-newtonian fluid*, sedangkan berdasarkan gaya yang bekerja pada fluida dan gerakannya, fluida dibagi 2 yaitu fluida statis dan dinamis. (Iskandar, 2013)

2. Debit

Debit merupakan volum fluida yang dapat dialirkan per satuan waktu. Debit diukur dengan menggunakan venturimeter, orifis, tabung pitot, dan rotameter. Satuan dari debit (Q) adalah m^3/s , liter/s, atau ft^3/s (Sularso, 2000). Untuk mengukur debit, pada simulasi ini digunakan alat rotameter.

Rotameter adalah suatu alat ukur yang berfungsi mengukur laju aliran berupa cairan atau gas dalam tabung tertutup. Alat ukur ini banyak dipergunakan untuk mengukur debit aliran air sesaat, satuan yang biasa digunakan adalah liter per menit. Sebuah rotameter terdiri dari tabung runcing, biasanya terbuat dari kaca, dengan pelampung di dalamnya yang didorong oleh aliran dan ditarik ke bawah oleh gravitasi. Pada tingkat aliran tinggi yang melalui *float* dan tabung, *float* akan terbawa dan mengambang keatas. *Float* dibuat dalam beberapa bentuk, bentuk yang paling umum yaitu bulat dan elips agar dapat berputar secara vertikal ketika dilalui fluida. Gaya dan jarak angkat dari pelampung sebanding dengan laju aliran. Gaya angkat ini dihasilkan oleh tekanan differensial yang menekan pelampung hingga naik ke atas yang dinamakan area meter karena letak ketinggian pelampung itu bergantung pada luas bidang annulus diantara pelampung dan tabung gelas tirus itu. Pelampung akan naik dan menunjukkan pada skala pengukuran dengan satuan yang diketahui. Ilustrasi rotameter dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Rotameter

(Sumber : Heru Santoso, 2012).

Fluida mengalir ke atas melalui tabung gelas berisi *float* yang dapat bergerak dengan bebas. Untuk menunjukkan besarnya aliran fluida, *metering float* naik ke atas. Kepala metering float menunjukkan angka 0, membuktikan bahwa *valve* yang terletak di bawah meteran ini belum terbuka.

Mula – mula *float* berada pada posisi setimbang (angka nol pada *scale line*) menunjukkan bahwa tidak adanya gaya yang bekerja pada *float*, dengan demikian tidak ada fluida yang mengalir. Ketika terjadi aliran fluida berakibat pada naiknya *float* ke atas akibat gaya angkat dari fluida. Pembacaan tinggi float pada *scale line* sebanding dengan perubahan besarnya aliran yang terjadi.

Adapun kelebihan dan kekurangan alat ukur rotameter, adalah sebagai berikut:

a. Kelebihan

1. Rotameter tidak memerlukan tenaga atau bahan bakar eksternal, hanya menggunakan sifat-sifat yang ada pada fluida dan gravitasi untuk mengukur laju aliran.
2. Rotameter juga memiliki perangkat yang relatif sederhana yang dapat diproduksi secara massal dari bahan murah, yang memungkinkan untuk digunakan secara luas.

b. Kerugian

1. Karena menggunakan gravitasi, rotameter harus selalu berorientasi vertikal ke atas dengan cairan yang mengalir ke atas.
2. Karena ketergantungan pada kemampuan dari fluida untuk mengambang, keluaran dari rotameter tertentu hanya akan akurat untuk suatu zat.
3. Rotameter biasanya memerlukan penggunaan kaca (atau bahan transparan lainnya).

3. Head

Head didefinisikan sebagai energi per satuan berat fluida. Satuan dari *head* adalah meter. Di dalam pompa, *head* diukur dengan cara menghitung beda tekanan total antara pipa isap dan pipa tekan, bila pengukuran dilakukan pada ketinggian yang sama.

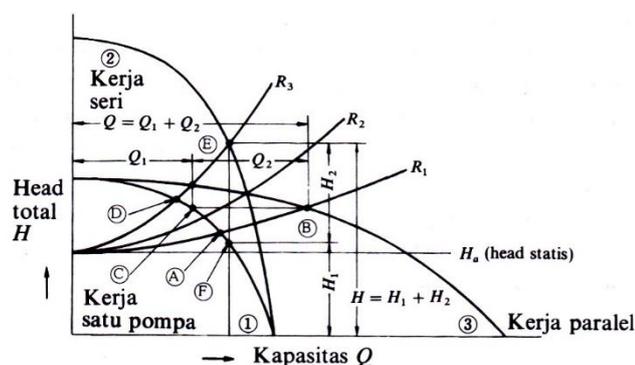
Menurut persamaan Bernoulli, terdapat tiga macam *head* dari sistem instalasi aliran, yaitu *head* kecepatan, *head* potensial dan *head* tekanan, sebagai berikut: (Sularso, 2000)

- Head* tekanan adalah perbedaan *head* yang disebabkan perbedaan tekanan statis (*head* tekanan) fluida pada sisi tekan dan sisi isap.
- Head* kecepatan adalah perbedaan antara kecepatan zat cair pada sisi tekan dengan *head* kecepatan zat cair pada sisi isap.
- Head* potensial / elevasi adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap.

D. Karakteristik Instalasi Pompa Seri dan Pompa Paralel

Jika *head* atau kapasitas yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka digunakan dua pompa atau lebih yang disusun secara seri atau paralel.

Gambar 7 menunjukkan kurva *head*-kapasitas dari pompa-pompa yang mempunyai karakteristik yang berbeda yang dipasang secara seri atau paralel. Dalam gambar ini kurva untuk satu pompa tunggal diberi tanda 1 dan untuk susunan seri yang terdiri dari dua buah pompa diberi tanda 2. Harga *head* kurva 2 diperoleh dari harga kurva 1 dikalikan dua untuk kapasitas Q yang sama. Kurva untuk susunan paralel yang terdiri dari dua buah pompa, diberi tanda 3. Harga kapasitas Q kurva 3 ini diperoleh dari harga kapasitas pada kurva 1 dikalikan dua.



Gambar 7. Operasi seri dan paralel dari pompa

(Sumber: Sularso, 2000)

Dalam gambar 7 ditunjukkan pula tiga buah kurva *head*-kapasitas R_3 , maka titik kerja pompa 1 akan terletak di D. Jika pompa ini disusun seri sehingga menghasilkan kurva 2 maka titik kerjanya akan berpindah ke E. Disini terlihat bahwa *head* di titik E tidak sama dengan dua kali lipat *head* di D, karena ada perubahan (berupa kenaikan) kapasitas.

Sekarang jika sistem mempunyai kurva *head*-kapasitas R_1 maka titik kerja pompa 1 akan terletak di A. Jika pompa ini disusun paralel sehingga menghasilkan kurva 3 maka titik kerjanya akan berpindah ke B. disini terlihat bahwa kapasitas di titik B tidak sama dengan dua kali lipat kapasitas di titik A, karena ada perubahan (kenaikan *head* sistem).

Jika sistem mempunyai kurva karakteristik seperti R_2 maka laju alir akan sama untuk seri maupun paralel. Namun jika karakteristik sistem adalah seperti R_1 dan R_3 maka akan diperlukan pompa susunan seri maupun paralel. Susunan paralel pada umumnya diperlukan untuk laju aliran besar, dan susunan seri untuk *head* yang tinggi pada titik operasi. Untuk susunan seri, karena pompa kedua mengisap zat cair bertekanan dari pompa pertama, maka perlu perhatian khusus dalam hal kekuatan konstruksi dan kerapatan terhadap kebocoran dari rumah pompa.

E. Perhitungan Pompa

a. Pompa Seri

1. *Head*

$$H_1 = \frac{P_{d1} - P_{s1}}{\gamma} \dots\dots\dots \text{pers. 1}$$

$$H_2 = \frac{P_{d2} - P_{s2}}{\gamma} \dots\dots\dots \text{pers. 2}$$

$$H_{total} = H_1 + H_2 \dots\dots\dots \text{pers. 3}$$

(Sumber: Sularso, 2000)

Keterangan:

H = *Head*

P_{d1} = Tekanan *discharge* pompa 1

P_{s1} = Tekanan *suction* pompa 1

P_{d2} = Tekanan *discharge* pompa 2

P_{s2} = Tekanan *suction* pompa 2

γ = $\rho \cdot g$

2. Kapasitas (Q)

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots \text{pers. 4}$$

(Sumber : Warren L. Mc Cabe hal. 63)

Dimana :

Q = Debit aliran air (m^3/s)

A = Luas penampang aliran (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

3. Daya Air (W_2) :

$$W_{2,1} = (P_{d1} - P_{s1}) \cdot Q \quad (\text{Watt}) \dots\dots\dots \text{pers. 5}$$

$$W_{2,2} = (P_{d2} - P_{s2}) \cdot Q \quad (\text{Watt}) \dots\dots\dots \text{pers. 6}$$

$$W_{1,Total} = W_{1,1} + W_{1,2} \quad (\text{Watt}) \dots\dots\dots \text{pers. 7}$$

b. Pompa Paralel

1. *Head*

$$H_1 = \frac{P_{d1} - P_{s1}}{\gamma} \dots\dots\dots \text{pers. 8}$$

$$H_2 = \frac{P_{d2} - P_{s2}}{\gamma} \dots\dots\dots \text{pers. 9}$$

$$H_{Total} = \frac{H_1 + H_2}{2} \quad (m) \dots\dots\dots \text{pers. 10}$$

(Sumber: Sularso, 2000)

Keterangan:

H = *Head*

P_{d1} = Tekanan *discharge* pompa 1

P_{s1} = Tekanan *suction* pompa 1

P_{d2} = Tekanan *discharge* pompa 2

P_{s2} = Tekanan *suction* pompa 2

γ = $\rho \cdot g$

2. Kapasitas (Q)

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots \text{pers. 11}$$

(Sumber : Warren L. Mc Cabe hal. 63)

Dimana :

Q = Debit aliran air (m^3/s)

A = Luas penampang aliran (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

3. Daya Air (W_2)

$$W_{2,1} = (Pd_1 - Ps_1) \cdot \frac{Q}{2} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots \text{pers. 12}$$

$$W_{2,2} = (Pd_2 - Ps_2) \cdot \frac{Q}{2} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots \text{pers. 13}$$

$$W_{2,Total} = W_{2,1} + W_{2,2} \text{ (Watt)} \dots\dots\dots \text{pers. 14}$$

(Sumber: Sularso, 2000)

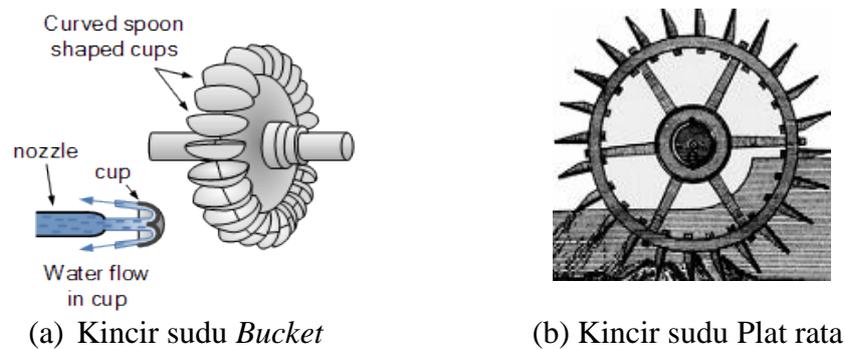
2.3.2 Kincir Air

Kincir air adalah sebuah peralatan mekanis berbentuk roda dengan sudu (*bucket* atau *vane*) pada sekeliling tepi-tepinya yang diletakkan pada poros vertikal dengan fluida air sebagai fluida kerjanya (Juneidy Morong, 2016).

Air yang mengalir ke dalam dan ke luar kincir tidak mempunyai tekanan lebih, melainkan hanya tekanan atmosfer saja. Kecepatan air yang mengalir ke dalam kincir haruslah besar, sebab bila kecepatannya besar maka dorongan pada sudu-sudu turbin semakin besar. Menurut Junaedy Morong, tinggi air jatuh yang bisa digunakan oleh kincir air yaitu berkisar antara 0,1 sampai 12 m dan kapasitas 0,05 sampai 5 m^3/s .

Kincir air dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk sudu kincir dalam mengubah energi jatuh air menjadi energi mekanik dan dapat juga diklasifikasikan berdasarkan sistem aliran arah air pendorong yaitu titik darimana air akan mendorong sudu kincir.

Klasifikasi kincir berdasarkan bentuk sudu dalam mengubah energi jatuh air menjadi energi mekanik terbagi menjadi 2, yaitu bentuk sudu turbin *bucket* dan bentuk sudu rata. Untuk lebih jelas mengenai klasifikasi bentuk sudu dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.

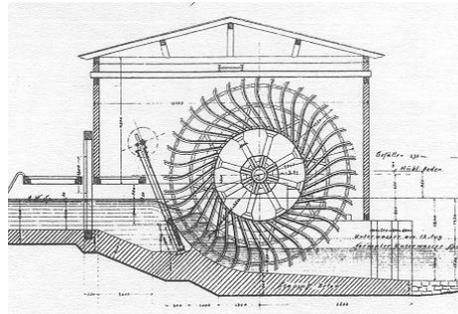


Gambar 8. Klasifikasi Bentuk sudu turbin
(Sumber: Danillo Cappechi, 2013:13)

Bentuk sudu kincir *bucket* merupakan bentuk sudu kincir yang mengubah energi potensial dan energi kinetik menjadi energi mekanik putaran turbin. Contoh dari jenis kincir ini yaitu kincir Pelton (Djoko Lunanto, 2012). Kincir Pelton merupakan kincir air yang memiliki sudu berbentuk mangkok. Fluida air ditransportasikan melalui nozel dengan kecepatan tertentu dan menabrak sudu yang mana dapat menampung sejumlah air yang telah ditabrakan (Amazon, 2016). Kincir sudu rata merupakan kincir air yang memiliki sudu kincir berbentuk plat datar atau rata yang secara langsung dapat bergerak oleh debit air tertentu.

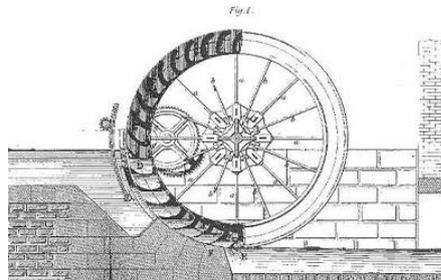
Klasifikasi kincir air berdasarkan aliran arah tembak fluida pada sudu kincir yaitu *undershot*, *overshoot*, dan *breastshot* (Gerrad Muller, 1899).

Tipe *undershot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah kincir. Kincir air tipe *undershot* dapat dilihat pada Gambar 9.



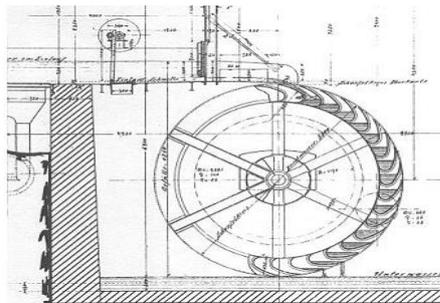
Gambar 9. Kincir Air Tipe *Undershot*
(Sumber: Gerrad Muller, 1899)

Kincir air tipe *breastshot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian tengah kincir. Kincir air tipe *breastshot* dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Kincir Air Tipe *Breastshot*
(Sumber: Gerrad Muller, 1899)

Tipe *overshot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas kincir. Kincir air tipe *overshot* dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Kincir Air Tipe *Overshot*
(Sumber: Gerrad Muller, 1899)

Kincir air digerakkan oleh tenaga air yang mengalir deras yang dapat menyebabkan terdorongnya sudu sehingga kincir berputar pada porosnya. Pada poros kincir yang berputar tersebut dipasang *pulley*. Putaran dari *pulley* di teruskan ke generator menggunakan sabuk. Putaran tersebut memutar kumparan dari generator yang akan mendorong garis-garis medan magnetnya. Gerakan inilah yang menimbulkan gaya gerak listrik (GGL).

Pembangkit listrik dengan tipe kincir di atas sangat efektif untuk digunakan pada kondisi debit air (Q) tertentu. Adapun keunggulan dan kerugian masing-masing kincir adalah sebagai berikut:

1. Kincir Air *Undershot*

Kincir air *Undershot* bekerja bila air yang mengalir menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan “*vitruvian*”. Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir.

Keuntungan:

1. Konstruksi lebih sederhana
2. Lebih ekonomis
3. Mudah untuk dipindahkan

Kerugian:

1. Efisiensi kecil (25%-70%)
2. Daya yang dihasilkan relatif kecil
3. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.

2. Kincir Air *Breastshot*

Kincir air *Breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya.

Keuntungan:

1. Tipe ini lebih efisien dari tipe *undershot*
2. Dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuhnya lebih pendek
3. Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran rata

Kerugian:

1. Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe *undershot* (lebih rumit)
 2. Diperlukan pada arus aliran rata
 3. Efisiensi lebih kecil daripada tipe *overshot* (20% - 75%)
3. Kincir air *Overshot*

Kincir air *Overshot* bekerja karena air yang mengalir ke dalam bagian sudu sudu sisi bagian atas dan berputar karena adanya gaya berat. Kincir air *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.

Keuntungan:

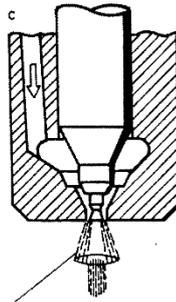
1. Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85 %
2. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
3. Mudah dalam perawatan
4. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir

Kerugian:

1. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air memerlukan investasi lebih banyak
2. Tidak dapat untuk mesin putaran tinggi
3. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.

2.3.3 Nozel

Nozel adalah alat atau perangkat yang dirancang untuk mengontrol arah atau karakteristik dari aliran fluida (terutama untuk meningkatkan kecepatan) saat keluar atau memasuki sebuah ruang tertutup atau pipa. Sebuah nozzle sering berbentuk pipa atau tabung dari berbagai variasi luas penampang, dan dapat digunakan untuk mengarahkan atau memodifikasi aliran fluida (cairan atau gas). Nozel sering digunakan untuk mengontrol laju aliran, kecepatan, arah, massa, bentuk, dan / atau tekanan dari aliran yang muncul. Kecepatan nozel air dari fluida meningkat sesuai energi tekanannya. Karakteristik nozel air dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Nozel Air
(Sumber: Bhakti Utama)

Klasifikasi jenis-jenis nozel air sebagai berikut:

1. Nozel jet

Nozel jet memiliki diameter yang lebih besar dan tekanan yang lebih rendah pada bagian input dari pada bagian output yang memiliki diameter lebih kecil dan tekanan yang lebih besar akibat pengecilan diameter.

2. Nozel Magnetik

Nozel Magnetik juga telah dipakai untuk beberapa jenis penggerak, di mana aliran plasma diarahkan oleh medan magnet, bukan dinding yang terbuat dari materi padat.

3. Nozel *Spray*

Nozel *spray* memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan nozel jet namun memiliki diameter yang lebih kecil dan terjadi perluasan aliran output fluida atau memecah aliran fluida (aerosol).

2.3.4 Generator

Generator merupakan salah satu mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah energi gerak atau mekanik menjadi energi listrik. Generator terdiri atas dua bagian utama yaitu kumparan jangkar dan kumparan medan yang ditempatkan pada stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak (Nurhadi, dkk 2013).

Generator dapat digunakan sebagai alat untuk mengubah energi putar mekanis menjadi energi listrik karena adanya medan magnet yang diputar melalui

rotor dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul disisi stator. Medan magnet yang terjadi di stator dengan pola-pola tertentu akan menimbulkan arus listrik yang mengalir di kumparan stator yang dialirkan melalui saluran transmisi sebagai arus listrik. Semakin besar putaran generator maka semakin besar energi listrik yang didapat dan semakin besar energi kinetis yang diperlukan untuk memutarinya. Generator yang digunakan dapat berupa generator arus searah dan generator arus bolak-balik (Jasa, dkk, 2010).

Dalam bentuknya yang sederhana sebuah generator listrik terdiri dari atas magnet dan kumparan. Saat terdapat suatu gerakan antara kedua komponen diatas, garis- garis gaya magnet memotong belitan-belitan kumparan dan suatu gerak gaya listrik (ggl) akan dibangkitkan. Sebuah generator listrik atau alternator modern terdiri atas sejumlah kumparan dari konduktor berisolasi yang diletakkan dalam alur (slot) inti besi berlaminasi.