BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Penelitian

Edis Sudianto Sihombing (2009) telah mengadakan penelitian mengenai sudu lengkung prototipe turbin air terapung yang memanfaatkan aliran sungai [6]. Penelitian yang dilakukan menggunakan turbin air jenis kincir air (*crossflow undershoot)* tipe sudu lengkung dengan jumlah sudu sebanyak 12 buah, dengan menggunakan alternator 1 fasa sebagai penghasil daya utama. Efisiensi turbin yang mampu dihasilkan pada penelitian ini sebesar 57% dengan putaran turbin sebesar 29 rpm. Daya maksimum yang mampu dihasilkan sebesar 125,97 watt. Besar kecepatan aliran air yang diperlukan untuk menggerakkan perangkat turbin air ini yaitu 1,75 m/s.

Heri Haryanto, Dedy Susanto, Rian Fahrizal (2014) melakukan penelitian tentang pembuatan rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) menggunakan potensi berupa irigasi air yang terletak di Desa Kadu Beureum Kecamatan Padarincang Kabupaten Serang [7]. Debit aliran air saluran irigasi tersebut yakni 0,2017 m^3/s, dengan menggunakan kincir air undershoot tipe sudu datar dengan jumlah sudu sebanyak 12 buah. Kecepatan putaran turbin yang diperoleh pada percobaan tersebut sebesar 59 rpm dan kecepatan putaran generator diperoleh sebesar 1281 rpm, peningkatan putaran dari turbin ke generator menggunakan transmisi *speed increaser*. Transmisi yang digunakan untuk meningkatkan putaran generator menggunakan perangkat mekanis *speed increaser* jenis *multiple* dengan dua rangkaian beserta motor induksi tiga fasa 550 watt yang digunakan sebagai generator induksi satu fasa. Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan didapat nilai efesiensi kincir air sebesar 81,2%, nilai efesiensi *speed increaser* sebesar 91,2% serta nilai efesiensi maksimum yang didapat ketika memakai kapasitor C1=8uF, C2=16uF, beban 125 watt dan tegangan 136 volt yaitu 36,20%. Ketika generator dengan kapasitor C1=5uF dan C2=10uF, efesiensi maksimum yang didapat yaitu 30,71% ketika beban 145 watt dan tegangan 100 volt. Dan ketika generator dengan kapasitor C1=5uF dan C2=12uF, efesiensi

maksimum yang didapat yaitu 43,57% ketika beban 185 watt dan tegangan 114 volt.

Putu Ardana, Lie Jasa (2016) telah melaksanakan penelitian mengenai Pembangkit Piko Hidro dengan memanfaatkan saluran irigasi di Dusun Pagi Penebel Tabanan [8]. Penelitian ini adalah merancang sebuah prototype turbin pikohidro yang mampu menghasilkan energi listrik dalam sekala kecil yang nantinya diintegrasikan dengan perikanan air deras masyarakat dusun Pagi. Model turbin yang dirancang berbentuk *crossflow overshoot* dengan menggunakan sudu sebanyak 16 buah, penelitian ini menggunakan prinsip aliran berlanjut. Artinya air akan mengalir tidak dilakukan proses bending yang biasa dikenal dengan *run of river*. Irigasi pada penelitian ini memiliki ketinggian (*head*) mencapai 7 meter dengan debit air kurang lebih 40 liter perdetik, dan debit air relatif tetap sepanjang tahun. Pikohidro yang dirancang dalam penelitian ini menghasilkan putaran turbin sebesar 130 rpm dengan putaran generator 1500 rpm. Transmisi *pulley* yang digunakan memiliki perbandingan 1 : 12. Penelitian ini menggunakan generator sinkron 1 fasa sebagai daya utamanya, dengan maksimum daya sebesar 3KVA.

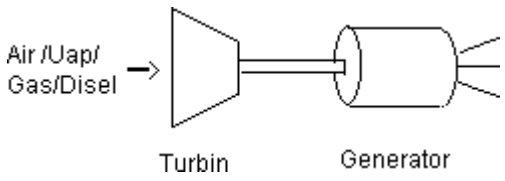
Suparman, Hadi Suyono, Rini Nur Hasanah (2018) melakukan penelitian mengenai rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Terapung (PLTPHT) [9]. Penelitian yang dilakukan menggunakan turbin air jenis kincir air (*crossflow undershoot)* tipe sudu datar dengan jumlah sudu sebanyak 10 sudu, dengan menggunakan PMG (Permanent Magnet Generator) 3 fasa sebagai penghasil daya utama, kapasitas yang mampu dihasilkan sebesar 518 W dengan putaran kincir sebesar 44,09 rpm ketika kecepatan aliran air 3,0 m/s dan torsi 112,22 Nm.

2.2 Tinjauan Teori dan Komponen Penelitian

2.2.1 Pembangkit Listrik

Pembangkit dapat diartikan sebagai sesuatu yang dapat membangkitkan atau sebuah perangkat yang dapat membangkitkan sesuatu. Pada sistem ketenagalistrikan, pembangkit listrik dapat diartikan sebagai suatu perangkat yang bekerja untuk menghasilkan tenaga listrik melalui proses pengkonversian energi potensial atau energi kinetik sehingga menghasilkan energi mekanik untuk

selanjutnya dapat dikonversi sehingga menghasilkan energi listrik. Pusat tenaga listrik merupakan penyebutan lainnya bagi pembangkit tenaga listrik. Energi listrik dapat dihasilkan dengan menggunakan berbagai sumber energi seperti tenaga angin, bahan bakar nuklir, bahan bakar fosil serta tenaga air. Berbagai sumber energi dimanfaatkan untuk mendapatkan tenaga yang selanjutnya digunakan guna menggerakkan turbin sehingga dapat menjalankan generator listrik. Nilai tegangan pada listrik yang diperoleh kemudian dinaikkan sesuai dengan tegangan dalam proses transmisi. Selanjutnya, arus listrik akan didistribusikan menuju beberapa daerah yang membutuhkan. Dalam sistem pembangkit terdapat pengkonversian dari energi mekanik menjadi energi listrik. Secara sederhana gambaran perubahan energi mekanik menjadi energi listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2. 1 Simulasi Pembangkit Listrik

Secara sederhana, dari gambar diatas dapat dijelaskan, energi yang diperoleh dari air, uap, gas, diesel, atau lainnya akan memutar turbin maka terjadi pengkonverisan dari energi potensial/kinetik sehingga diperoleh energi mekanik. Turbin yang berputar selanjutnya menggerakkan generator sehingga dalam proses ini mengakibatkan pengubahan energi mekanik sehingga diperoleh energi listrik.

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit tenaga air didefinisikan sebagai pembangkit listrik dengan menggunakan perubahan bentuk tenaga air dengan ketentuan memenuhi tinggi serta debit yang ditentukan sehingga menghasilkan listrik dengan memakai generator dan turbin air. Untuk menghitung dayanya dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P = 9{,}8 \times \rho \times Q \times H \quad \text{.....(2.1)[10]}$$

Dimana:

P = daya keluaran secara teoritis (watt)

ρ = massa jenis fluida (kg/m3)

Q = debit air (m3/s)

H = ketinggian efektif (m)

Daya listrik yang dihasilkan, dihitung dengan mengalikan nilai efisiensi pembangkit dan nilai daya keluaran berdasarkan teori. Pada persamaan (2.1) dapat dilihat bahwa daya keluaran merupakan hasil perkalian antara tinggi jatuh dan debit air, sehingga keberhasilan PLTA tergantung pada upaya efektif dan ekonomis untuk memperoleh ketinggian serta debit air yang besar.

Pikohidro merupakan salah satu istilah penyebutan bagi pembangkit listrik dengan memanfaatkan aliran air. Tidak semua aliran dapat digunakan dalam pembangkitan listrik, hanya air yang memiliki debit aliran dan ketinggian instalasi tertentu yang dapat digunakan. Semakin tinggi ketinggian serta laju alirannya maka jumlah energi listrik yang diperoleh juga tinggi. Jenis pembangkitan dengan tenaga air berdasarkan keluaran daya yang dihasilkan dapat dibedakan menjadi:

1) Pico-hydro : Daya yang dihasilkan antara ratusan watt hingga 5kW
2) Micro-hydro : Daya keluaran antara 5kW hingga 100 kW
3) Mini-hydro : Daya keluaran di bawah 1 MW tetapi di atas 100 kW
4) Small-hydro : berkisar – 15 MW
5) Medium-hydro : berkisar 15 – 100 MW
6) Large-hydro : di atas 100 MW

2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) merupakan perangkat pembangkit dengan tenaga air berskala piko. Dikatakan berskala piko, karena listrik yang mampu dihasilkan hanya sekitar beberapa ratus watt saja. Pada dasarnya sistem pembangkitan listrik dengan tenaga air berskala piko menggunakan perbedaan

tinggi saluran dan besar debit saluran sungai, air terjun ataupun irigasi. Air mengalir untuk memutarkan turbin hingga dihasilkan energi mekanik. Kemudian poros turbin membuat poros generator berputar yang selanjutnya akan diperoleh energi listrik. Turbin dapat berputar disebabkan oleh energi potensial dari aliran air melalui pipa pesat lalu menyentuh turbin pada bagian sudu-sudunya. Putaran turbin lalu menyebabkan poros generator ikut berotasi hingga energi listrik dihasilkan. Beberapa keunggulan yang dimiliki pembangkit listrik tenaga pikohidro, antara lain:

1. Tidak memakai bahan bakar fosil sehingga bersifat ramah lingkungan
2. Proses pembangunan bisa dikombinasikan dengan pembangunan jaringan irigasi.
3. Biaya pembuatan yang relatif lebih murah
4. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatannya mudah ditemukan.
5. Relatif mudah dalam pengembangan dan pengaplikasiannya.
6. Cocok diterapkan di daerah yang masih belum dijangkau oleh jaringan penyebaran listrik PLN karena ukurannya yang kecil,
7. Tidak memerlukan perawatan yang rumit serta dapat dipakai untuk jangka waktu lama.

2.2.4 Pikohidro Terapung (PiTera)

Pikohidro merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang mampu menghasilkan energi listrik dengan kapasitas daya yang rendah. Rata-rata pikohidro mampu menghasilkan daya dari ratusan Watt hingga 5kW. Komponen utama dari pikohidro ialah aliran air, turbin, dan generator. PiTera merupakan akronim dari Pikohidro Terapung. PiTera merupakan pembangkit listrik pikohidro yang dapat mengapung pada permukaan air.

Desain dari PiTera dirancang khusus agar mampu menghasilkan energi listrik dengan mengikuti debit air, sehinga mampu bekerja pada daerah yang memiliki aliran air serta kedalaman yang rendah. PiTera diharapkan mampu memberikan suplai energi listrik

sebagai solusi penerangan pada daerah disekitar persawahan atau pemukiman di pinggiran sungai.

PiTera merupakan pengembangan pembangkit listrik pikohidro terapung yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Desain, fungsi dan fitur yang terdapat pada PiTera didesain lebih modern. Keunggulan PiTera dari alat yang telah dibuat sebelumnya adalah :

1. Menggunakan generator low rpm dengan efisiensi 80%.
2. Terdapat perangkap sampah yang dapat melindungi kinerja turbin.
3. Terdapat sistem manajemen beban daya, sistem akan mengurangi pemakaian lampu secara bertahap saat baterai berada pada batas minimum yang diizinkan.
4. Lampu dapat menyala secara otomatis saat keadaan gelap (malam), dan dapat mati secara otomatis saat keadaan terang (siang).
5. Sistem dapat memberikan notifikasi SMS saat alat terjadi masalah dan dapat memberikan notifikasi perawatan rutin.
6. Memiliki ukurannya yang relatif kecil sehingga dapat diterapkan di saluran irigasi.

2.2.5 Generator Listrik

Generator merupakan suatu mesin yang berfungsi memperoleh energi listrik dengan sumber energi mekanik. Generator bekerja dengan memanfaatkan fenomena induksi elektromagnetik [11]. Generator dibagi dua berdasarkan jenis arusnya yaitu generator DC serta generator AC. Letak perbedaannya ialah pada generator DC menggunakan komutator, sedangkan pada generator AC menggunakan *slip ring* [12]. Generator merupakan perangkat utama dalam pembangkit listrik. Generator akan mendorong muatan agar bergerak melalui sirkuit eksternal, tetapi listrik yang terdapat pada lilitannya bukan dihasilkan oleh generator. Sumber enegi mekanik yang digunakan dapat berbentuk aliran air melewati kincir air, resiprokat, turbin mesin uap, mesin pembakaran dalam, turbin angin, udara yang dimampatkan, dan lain-lain. Generator akan memberikan suplai energi lisrik pada PiTera sehingga beban dapat terpenuhi. Generator dapat bekerja karena adanya energi kinetik pada

aliran air yang dikonversi sehingga menghasilkan energi mekanik melalui turbin. Generator yang digunakan pada PiTera menggunakan *Permanent Magnet Generator* (PMG).

Permanent Magnet Generator (PMG) merupakan jenis generator sinkron yang pada rotornya terdapat magnet permanen sebagai sistem eksitasinya. Sedangkan untuk sistem eksitasi *brushless*, PMG berperan sebagai sumber daya untuk komponen regulator dan eksiter AC. PMG tersusun oleh magnet permanen pada bagian yang berputar dan bagian yang diam berupa jangkar yang dililitkan oleh *output* tiga fasa. PMG akan ikut berputar saat rotor berputar. PMG bertindak sebagai generator. *Automatic Voltage Regulator* (AVR) digunakan untuk pengontrolan tegangan/arus AC yang disearahkan. Karena kecilnya arus/tegangan AC pada generator magnet permanen, arus AC disearahkan kemudian diumpankan ke *exciter* guna memperoleh voltase AC yang lebih tinggi. Arus listrik AC yang dihasilkan dari eksiter dibuat searah memakai *rotating diode* guna menyuplai arus eksitasi rotor agar memproduksi medan magnet. Kemudian fluks listrik dihasilkan oleh adanya medan magnet yang menghantam kumparan pada bagian stator. Sehingga dari proses tersebut diperoleh tegangan keluaran sebagai *output* generator. Proses ini dilakukan berulang kali saat generator aktif sehingga untuk proses eksitasi tidak dibutuhkan sumber tegangan DC. Tegangan yang dihasilkan oleh generator kemudian diperoleh pada bagian stator karena pada bagian yang diam tidak sulit memperoleh tegangan daripada bagian yang berputar (rotor). PiTera menggunakan *Permanent Magnet Generator* (PMG) yang ditunjukan pada gambar 2.2. Energi listrik keluaran dari generator listrik yakni berupa arus AC 3 *phase* dengan keluaran daya maksimum sebesar 500 wat dengan putaran maksimum 600 rpm.

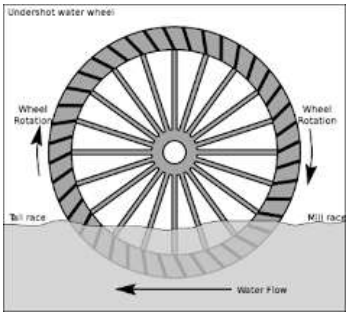
Gambar 2. 2 *Permanent Magnet Generator*

2.2.6 Turbin Air Crossflow Undershoot

Turbin air menjadi salah satu bagian terpenting dalam pembangkit listrik tenaga air. Hal ini karena turbin air merupakan media konversi dari energi kinetik untuk menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik dalam gerak rotasi untuk menggerakkan turbin dapat menghasilkan energi listrik melalui generator. Turbin air memanfaatkan air sebagai fluida kerja. Air yang terletak di keinggian tertentu mempunyai energi potensial sedangkan air pada aliran datar memiliki energi kinetik. Energi potensial akan diubah menjadi energi kinetik saat air mengalir menuju tempat yang lebih rendah. Air yang mengalir akan digunakan untuk memutar turbin selanjutnya turbin menggerakkan generator hingga diperoleh energi listrik oleh generator [13]. Parameter kincir air untuk yang bekerja pada head rendah berkisar antara 0,1 - 12 meter, dan debit air berkisar 0,005 - 5 m^3/s [14].

Desain turbin air *undershot* pada PiTera didesain sedemikian rupa agar mampu bekerja secara optimal dengan aliran arus air yang rendah. Kincir air *undershot* yang ditunjukan pada gambar 2.4, cara kerja jenis kincir air tersebut adalah dengan memanfaatkan aliran air agar menghantam sudu yang berada di bagian bawah dari kincir air. Tipe kincir air ini tidak memerlukan parameter ketinggian aliran air dan biasa digunakan di daerah perairan dangkal yang rata. Nama lain dari jenis kincir air ini adalah “vitruvian” [15]. Dapat dilihat bahwa arah putaran sudu pada kincir berlawanan arah dengan aliran air. Terdapat dua bagian utama pada turbin *crossflow* yaitu *nozzle* dan *runner*. *Nozzle* didefinisikan untuk bagian yang diam

sedangkan *runner* didefinisikan untuk bagian yang bergerak. *Runner* sendiri dibuat menggunakan dua buah lempengan sejajar yang dihubungkan melalui sederetan sudu pada bagian tepinya.



Gambar 2. 3 Kincir Air *Undershot*

Beberapa kelebihan dan kelemahan dari penggunan kincir air tipe ini ialah :

Kelebihan :

- Mudah untuk dipindahkan.
- Material pembuatannya mudah diperoleh.
- Biaya lebih ekonomis.
- Struktur konstruksi lebih sederhana.

Kelemahan :

- Daya yang dihasilkan relatif kecil.
- Memiliki efisiensi yang jauh lebih kecil dibanding jenis lainnya.

Kincir air dipilih sebagai tipe turbin yang digunakan pada PiTera karena dinilai memiliki efisiensi yang relatif stabil, konstruksi yang relatif sederhana, fleksibel dalam hal peletakkan sesuai dengan potensi air yang tersedia, mudah dalam hal perawatan, mudah dalam proses pembuatan, serta struktur bangunan sipil yang sederhana. Tidak memerlukan tinggi jatuh aliran air (*head*) yang tinggi, tetapi hanya memerlukan energi kinetik pada aliran air. Pemilihan jenis turbin didasarkan kedalam beberapa kriteria. Pemilihan jenis turbin yang akan digunakan berdasarkan perhitungan dan pertimbangan beberapa parameter khusus yang mempengaruhi kerja sistem turbin :

- Memperhitungkan daya yang mampu terbangkitkan oleh suatu aliran air atau irigasi.
- Memperhatikan kecepatan aliran air, debit air, luas penampang sebuah sungai atau irigasi, dan tinggi jatuh air (*head*).
- Pemilihan jenis dan tipe turbin berdasarkan lokasi penempatan, dan parameter yang disampaikan diatas.

Untuk mendapatkan daya yang optimal sesuai dengan daya hidrolik air dan perencanaan daya generator yang akan dibangkitkan, maka diperlukan perencanaan turbin yang sesuai. Dalam perencanaan turbin pada pembangkit listrik pikohidro terapung ini ada beberapa variable yang perlu diperhatikan :

- Jumlah sudu turbin

  Jika jumlah sudu pada turbin sedikit maka hasil kinerja turbin kecil, dan bila jumlah sudu pada turbin terlalu banyak maka kinerja turbin akan menurun [15].

- Bentuk sudu.

  Bentuk dari sudu mempengaruhi efisiensi dan torsi turbin, sehingga dari parameter tersebut mempengaruhi daya yang mampu terbangkitkan oleh turbin [16].

- Diameter turbin.

  Diameter kincir air yang semakin besar akan mengakibatkan torsi yang diperoleh juga besar namun putarannya akan mengecil dan begitupun sebaliknya, diameter yang semakin pendek akan mengakibatkan torsi yang diperoleh juga kecil namun perputaran turbin akan meningkat, oleh karena itu diperlukan perhitungan untuk mencari diameter kincir air yang dapat menghasilkan kinerja yang baik dan optimal [15].

- Tebal sudu.

  Pengaruh ketebalan sudu-sudu kincir terhadap daya poros beserta efisiensinya yaitu sudu turbin yang semakin tebal maka semakin menurun daya poros dan efisiensinya [17].

- Putaran turbin (rpm)

Pengaruh kecepatan putaran turbin yang terhubung dengan generator ialah apabila perputaran turbin sangat cepat maka daya yang diproduksi generator akan meningkat.

- Kedalaman rendaman (head pada turbin tipe undershoot).

Jika faktor kedalaman turbin rendah maka daya keluaran yang dihasilkan rendah, dan jika kedalaman rendaman terlalu terendam, maka daya keluaran nya akan menurun [15].

Untuk menentukan tipe dan jenis turbin, jumlah sudu, banyak sudu, dan parameter lainnya, ada beberapa perhitungan yang perlu untuk dicari atau diketahui. Untuk menentukan turbin pada pembangkit listrik pikohidro terapung, ada beberapa formulasi yang diperlukan untuk memperoleh hasil agar sesuai dengan perencanaan :

- Potensi Energi Air (Ek)

Energi pada air biasanya terdapat pada aliran air yang jatuh dari ketinggian. Selain itu, energi juga dihasilkan dari aliran air yang mendatar yang disebut energi kinetik (Yusri, 2004).

$Ek = 1/2\ mv2$ ..... (2.2)

Dimana :

E = Energi Kinetik (Joule)

m = Massa jenis air (997 kg/m^3)

V = kecepatan aliran air (m/s)

- Kecepatan Air (m/s)

$v = \frac{s}{t}$ ..... (2.3)

Dimana :

V = Kecepatan air (m/s)

s = jarak (m)

t = waktu (s)

- Formulasi Debit Air (Q)

Q = A x V ..... (2.4)

Dimana :

A = Luas Penampang yang dilalui Air (m2)

V = Pengukuran Kecepatan Air (m/s)

Q = Debit air (m3/s)

- Formulasi Daya Air (P_{Air})

$P = \frac{1}{2} PQV^2 \; atau \; P = \frac{1}{2} PAV^3$ ..... (2.5)

Dimana :

P = Daya Air (Watt)

A = Luas Penampang Pipa (m^2)

Q = Debit Air (m^3/s)

V = Kecepatan Air (m/s)

- Jarak Antar Sudu (Dr)

Formulasi dalam menentukan panjang pemisahan antara satu sudu dengan sudu lainnya agar kincir dapat berputar sesuai konstruksi kincir dan nilai reratanya (D_r) yaitu:

$P = \frac{D1+D2}{2}$ ..... (2.6)

Dimana :

D_r = Diameter rata-rata (m)

D_1 = Diameter Luar Kincir (m)

D_2 = Diameter Dalam Kincir (m)

$t1 = \frac{D1+\pi}{Z}$; $t1 = \frac{D1+\pi}{Z}$ ..... (2.7)

Dimana :

t_1 = Jarak antar sudu dalam (m)

t_2 = Jarak antar sudu luar (m)

z = Jumlah sudu

- Massa kincir (Kg)

A1 = π r2 dan A2 = π r2 ..... (2.8)

Atotal = A1 – A2 ..... (2.9)

Volume = Atotal x Lebar Kincir ..... (2.10)

Bkincir = Volume x m ..... (2.11)

Dimana :

A1 = Luas Tabung Luar (cm)

A2 = Luas Tabung Dalam (cm)

m = massa Jenis bahan yang digunakan (ex : baja/besi/pipa PVC,dll).

A_{total} = Rata Rata luas Tabung (cm^2)

Volume = A_{total} x lebar (cm^3)

Bkincir = Volume x Berat jenis baja (kg)

Ex : Berat jenis baja = 0.0074 x 10%

- Kecepatan keliling turbin

Kecepatan keliling turbin dapat ditentukan menggunakan persamaan (Nababan 2012) :

$$n = \frac{60+U1}{\pi D1} \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana :

n = Putaran Kincir (Rpm)

U1= Kecepatan keliling kincir (m/s)

D1= Diameter luar kincir (m)

Banyaknya sudu-sudu aktif (i)

$$n(dalam\ rps) = \frac{n\ (dalam\ rpm)}{60} \quad \text{.....(2.13)}$$

$$i = n\ (dalam\ rps) x Z$$

Dimana :

i = Banyanknya sudu-sudu aktif

Z = Banyanknya sudu-sudu kincir

- Kapasitas air pada settiap sudu (q)

$$q = \frac{Q}{i} \quad \text{.....(2.14)}$$

Dimana :

q = Jumlah aliran air tiap sudu (m^3/s)

i = Banyaknya sudu-sudu aktif

Q = Debit air (m^3/s)

- Ketebalan Air yang Terpancar saat Masuk ke Sudu-sudu (S0)

$$S_0 = t1.\sin\alpha \quad \text{.....(2.15)}$$

Dimana :

S0 = Lebar air yang terpancar (m)

t1 = Panjang pemisahan masing-masing sudu pada bagian dalam (m)

Sin α = sudut kemiringan sudu

- Gaya Tangensial (F)

F = m . V .....(2.16)

Dimana :

F = Gaya (N)

m = massa air (kg)

- Jari-jari kincir air (r_X)

Dalam menentukan jari-jari kincir dapat menggunakan persamaan berikut :

$$rx = \frac{r2-r1}{2} + r1 \quad \text{.....(2.17)}$$

Dimana :

r_X = Jari jari rata-rata (m)

r_1 = jari – jari sisi dalam (m)

r_2 = jari – jari sisi luar (m)

- Daya kincir air (P_{kincir})

Daya kincir air dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$P_{kincir} = T \times \omega$

Dimana :

T = Torsi (Nm) = F.r .....(2.18)

$\omega = \frac{2\pi n}{60}$ .....(2.19)

Dalam menentukan nilai torsi pada kincir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

T = F x r..... (2.20)

Dimana :

T = Torsi (Nm)

F = Gaya tangensial (N)

R = Jari-jari kincir (m)

- Daya Generator ($P_{Generator}$)

$P_{Generator}$ = V x I.....(2.21)

Dimana :

V = Tegangan Generator (V)

I = Arus generator (A)

- Putaran Generator (Rpmgenerator)

Dalam menentukan seberapa cepat perputaran (rpm) generator yang digunakan yaitu melalui perhitungan rasio *pulley* yang dipakai.

$N_{Generator} = \frac{n1}{n3} = \frac{D1}{D2}$.....(2.22)

$N_{Generator}$ = n3 = $n1\frac{D1}{D2}$ .....(2.23)

Dimana :

n1 = Kecepatan perputaran kincir (Rpm)

n3 = Kecepatan perputaran Generator (Rpm)

D1 = Diameter pulley kincir

D2= Diameter pulley generator

- Efisiensi Hidrolik

Efisiensi hidrolik didefinisikan sebagai rasio antara daya sudu dan daya hidrolik. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{Ps}{Ph}\ x\ 100\% \quad \text{.....(2.24)}$$

Dimana :

Ps = Daya Sudu (Watt)

Ph = Daya Hidrolik (Watt)

- Efisiensi Mekanik

Efisiensi mekanik didefinisikan sebagai rasio antara daya mekanik dan daya sudu. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_m = \frac{Pm}{Ps}\ x\ 100\% \quad \text{.....(2.25)}$$

Dimana :

Pm = Daya Mekanik (Watt)

Ps = Daya Sudu (Watt)

- Efisiensi generator

Efisiensi generator didefinisikan sebagai rasio antara daya generator dan daya mekanik. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_g = \frac{Pg}{Pm}\ x\ 100\% \quad \text{.....(2.26)}$$

Dimana :

Pg = Daya Generator (Watt)

Pm = Daya Mekanik (Watt)

- Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem didefinisikan sebagai rasio daya listrik hasil produksi generator dan daya hidrolik. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan berikut:

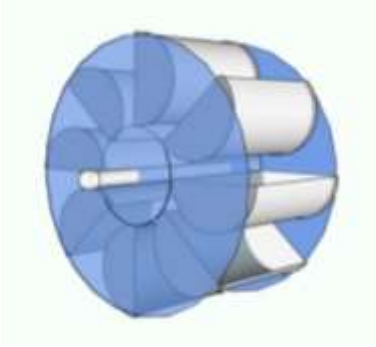
$$\eta_s = \frac{Pg}{Ph}\ x\ 100\% \qquad (2.27)$$

Dimana :

Pg = Daya Generator (Watt)

Ph = Daya Hidrolik (Watt)

Pembangkit PiTera memanfaatkan perubahan tenaga air dalam bentuk aliran air yang memiliki ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik. Untuk menentukan besarnya efisiensi pada turbin diperlukan perhitungan yang sesuai. Untuk memaksimalkan kinerja PiTera ditentukan spesifikasi turbin yang digunakan yang disesuaikan dengan dimensi dari PiTera. Berikut desain turbin dari PiTera yang diilustrasikan pada gambar 2.4



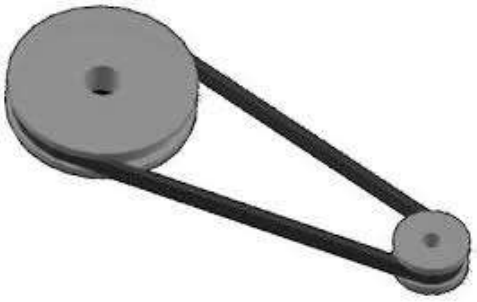
Gambar 2. 4 Desain Turbin Air PiTera

2.2.7 Pulley

Pulley merupakan salah satu komponen mekanis berbentuk seperti roda yang biasanya dipakai bersama dengan *belt* sebagai pendukung untuk pergerakan *belt* agar terbentuknya suatu alur daya yang berguna dalam mentransmisikan daya [18]. *Pulley* biasa dipakai guna membelokkan arah gaya yang dikirimkan serta

mentransfer pergerakan putaran. *Pulley* yang terdapat di *belt conveyor* berguna untuk menggerakkan *belt* / sabuk dengan cara memberi gaya putaran serta pemindahan beban antar titik.

Desain *pulley* yang diterapkan pada PiTera menggunakan dua buah *pulley* dengan ukuran yang berbeda. Rasio antara kecepatan poros penggerak dengan kecepatan poros yang digerakkan dipengaruhi oleh rasio diameter *pulley* itu sendiri. *Pulley* dihubungkan menggunakan sabuk, cara kerjanya ialah dengan memanfaatkan kontak gesek antara *pulley* dengan sabuk dalam menghantarkan daya. Kecepatan rotasi *pulley* yang sering digunakan berkisar 10-60 m/s [19]. Apabila kecepatan putar terlalu tinggi maka akan menimbulkan gaya sentrifugal yang akan mengakibatkan sabuk terlepas dari *pulley* sehingga efektivitas, ketahanan torsi sabuk dan masa pakai menjadi berkurang. Apabila kecepatan putar terlalu rendah maka akan menimbulkan tegangan tarik yang cukup besar. Desain *pulley* yang digunakan PiTera diilustrasikan pada gambar 2.5 dibawah ini :

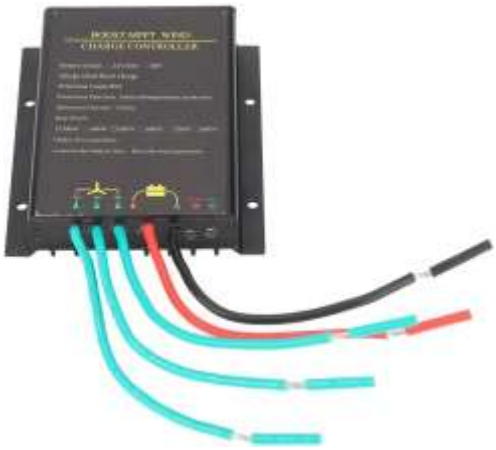


Gambar 2. 5 *Pulley* dan *Belt*

2.2.8 Charger Controller / MPPT (*Maximum Power Point Tracking)*

Sistem membutuhkan media penyimpanan yang berfungsi untuk membuat tegangan yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Air menjadi stabil dan kontinyu. Dikarenakan energi air yang terdapat pada saluran irigasi bersifat berubah-ubah bergantung curah hujan dan faktor lainnya. Sehingga media penyimpanan diperlukan. Sebelum listrik disimpan, listrik terlebih dahulu distabilkan dan diubah ke tegangan DC. Energi listrik yang mulanya memiliki *output* tegangan AC 3-fasa dari generator diubah menjadi tegangan DC untuk selanjutnya disimpan ke komponen penyimpanan

yaitu baterai. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut dipilih *Charge Controller* yang dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Charger Controller

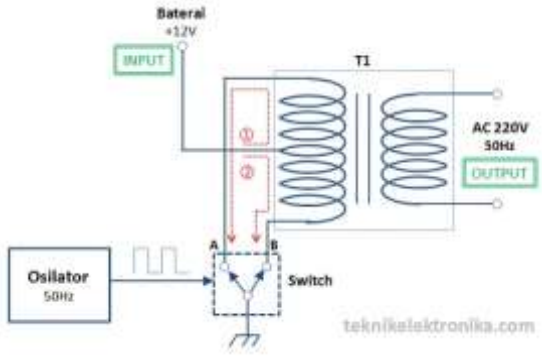
2.2.9 Baterai VRLA

Sistem PiTera membutuhkan media penyimpanan yang berfungsi untuk membuat tegangan yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) menjadi stabil dan kontinyu. Dengan menggunakan baterai, energi yang dihasilkan oleh genertor listrik dapat disimpan. Baterai dapat diartikan sebagai komponen yang digunakan oleh perangkat elektronik yang berfungsi sebagai sumber energi listrik yang tersimpan dalam bentuk energi kimia. Untuk memenuhi sistem yang terdapat pada PiTera digunakan baterai jenis asam timbal (*Lead Acid)* atau biasa disebuat baterai industri dengan kapasitas penyimpanan 12VDC 20ah yang dapat dilihat pada gambar 2.7 Berikut.

Gambar 2. 7 Baterai VRLA

2.2.10 Inverter

Inverter atau nama lain dari *Power Inverte*r seperti yang ditunjukan pada gambar 2.8 didefinisikan sebagai rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengkonversi arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan voltase serta frekuensi menyesuaikan desain rangkaian yang dibuat. *Input* dari inverter berupa baterai ataupun listrik hasil produksi generator atau media pembangkitan lainnya.



Gambar 2. 8 Prinsip Kerja Inverter

Sumber : teknikelektronika.com

Mekanisme fungsionalitas inverter yaitu arus listrik DC bertegangan rendah (misal 12 V) dimasukkan ke *Center Tap* (CT) trafo lilitan sekunder kemudian untuk ujung trafo lainnya (titik A dan titik B) dikoneksikan ke *ground* rangkaian menggunakan saklar (*switch)* dua arah. Apabila saklar terkoneksi dengan titik A maka akan terjadi aliran listrik pada aliran 1 dari baterai kutub positif menuju *Center Tap* lilitan primer lalu melalui saklar menuju titik A kemudian menuju *ground*. Apabila posisi saklar ditukar sehingga terkoneksi dengan titik B, maka aliran arus pada aliran 1 terhenti kemudian arus listrik pada aliran 2 mulai mengalir dari baterai kutub positif menuju *Center Tap* lilitan primer kemudian melewati Saklar titik B menuju *ground*. Aliran 1, aliran 2, titik A dan titik B diilustrasikan pada gambar.

Perubahan ON/OFF saklar atau perpindahan antar titik A dengan titik B dijalankan menggunakan osilator dengan frekuensi 50Hz yakni memindahkan aliran listrik dari titik A menuju B ataupun sebaliknya dimana kecepatannya 50 kali per sekon. Sehingga aliran listrik DC pada aliran 1 maupun aliran 2 akan bergiliran sejumlah 50 kali per sekon, hal ini sebanding dengan aliran listrik bolak-balik frekuensi 50

Hz. Kemudian untuk komponen yang berfungsi sebagai *switch* pada rangkaian tersebut biasanya ialah transistor atau MOSFET.

Lilitan sekunder pada trafo akan memberi keluaran dalam bentuk tegangan yang lebih besar (misal 120 V ataupun 240 V) bergantung dengan banyaknya lilitan di lilitan sekunder ataupun perbandingan banyaknya lilitan primer dengan sekunder dari trafo yang terdapat pada Inverter.

Gambar 2. 9 *Power Inverter*