

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Mikrohidro Model Tube

“Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air”(Sukamta & Kusmantoro, 2013). Potensi kondisi air yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik yaitu memiliki debit air yang stabil, memiliki kapasitas aliran dan *head* (ketinggian) tertentu serta instalasi yang sederhana. Pembangkit mikrohidro *tube* memanfaatkan aliran irigasi pertanian, yang belum dimanfaatkan dengan maksimal dari potensi air yang ada, prinsip kerja dari mikrohidro tube dengan cara merubah energi potensi air menjadi energi listrik. Semakin besar debit aliran dan *head* (ketinggian) maka akan semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik Prinsip dasar mikrohidro *tube* adalah memanfaatkan energi potensial yang dimiliki oleh aliran air pada jarak ketinggian tertentu dari tempat instalasi pembangkit listrik

“Kegiatan studi kelayakan diawali dengan desk studi, pengumpulan data sekunder, *survey* lapangan (topografi, geoteknik, hidrologi, kelistrikan dan sosial-ekonomi-budaya) dan dilanjutkan dengan proses analisis dan perhitungan”(Wiludjeng, Masrukhi, Asna, & Furqon, 2017) juga mengungkapkan bahwa perencanaan mikrohidro tube dalam penerapan PLTMH dimana data yang dibutuhkan ialah data iklim berupa data curah hujan dan data debit sungai sepanjang tahun pada musim kemarau dan musim hujan selama 5–10 tahun; serta data

kemiringan terjunan atau beda ketinggian (*head*) di semua titik (tempat) yang dianggap potensial untuk dikembangkan PLTMH.

“Hasil analisis dan perhitungan diketahui bahwa Sungai Naliak Gadang dengan debit air $0,9 \text{ m}^3/\text{detik}$ dapat dimanfaatkan untuk pembangunan PLTMH di sana, prasarana yang harus dibangun ialah bendungan *intake*, saluran pembawa/kanal dapat memanfaatkan saluran irigasi yang ada sepanjang 162 m, bak penenang dan rumah pembangkit. Secara teknis pembangunan PLTMH Jorong Tarantang Tunggang layak untuk dilaksanakan, dengan debit rencana masuk *turbine* $0,56 \text{ m}^3/\text{detik}$, *head* 10 m, diameter pipa pesat 58 cm, maka daya yang dapat dibangkitkan sekitar 30 kW yang dapat mensuplai sebahagian besar kebutuhan listrik Jorong Tarantang Tunggang yang berjumlah sekitar 117 kepala keluarga”(Bachtiar & Putra, 2014).

“Sampai saat ini jaringan listrik PLN belum sampai ke daerah ini, selama ini masyarakat menggunakan 6 buah diesel untuk memenuhi kebutuhan penerangannya, tetapi sejak harga bahan bakar minyak cukup mahal hanya satu diesel yang dioperasikan. Pengoperasian PLTMH di Jorong Tarantang Tunggang masyarakat akan menikmati energi listrik yang murah dan ke depan tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan listrik saja. PLTMH juga berpotensi untuk mendorong kegiatan ekonomi produktif melalui program *Community and Bussines Development Service* dengan hasil yang lebih baik”(Larasakti et al.,2012). Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses pembangunan PLTMH ini melalui proses yang sangat rumit dan mendalam, mulai dari sosialisai pengenalan pembangkit listrik mikrohidro, aturan pengelolaan pembangkit mikrohidro, mengelola pembangkit mikrohidro secara teknis dan administratif dalam

pengembangan Pembangkit Listrik Mikrohidro dalam sistem interkoneksi dengan jaringan PLN maupun non interkoneksi. Pemanfaatan daya PLTMH di siang hari untuk menggerakkan *rice milling*, mesin penggiling kopi, mesin pengolah kapuk, pengembangan perbengkelan, dan pengisian *accu*. PLTMH yang dikelola oleh Yayasan Al Hikmah di Desa Sarasah Kanaikan, Pasaman Barat, Sumatera Barat. PLTMH ini dirancang secara terpadu dengan menggabungkan usaha kolam ikan air deras, usaha listrik dan usaha penggilingan padi. PLTMH di Desa Silayang, Kabupaten Pasaman, Sumatera Barat dimanfaatkan sebagai sumber energi panas pada proses penggorengan biji kopi.

Usaha kopi ini merupakan usaha yang dimiliki desa dan dikelola oleh warga desa sendiri sehingga keuntungan dari usaha kopi ini dapat dinikmati oleh seluruh warga desa.



Gambar 2.1 Turbine yang sekaligus menggerakkan mesin penggilingan padi.

PLTMH Yayasan Al hikmah Desa Sarasah Kanaikan Pasaman Barat, Sumatera Barat;



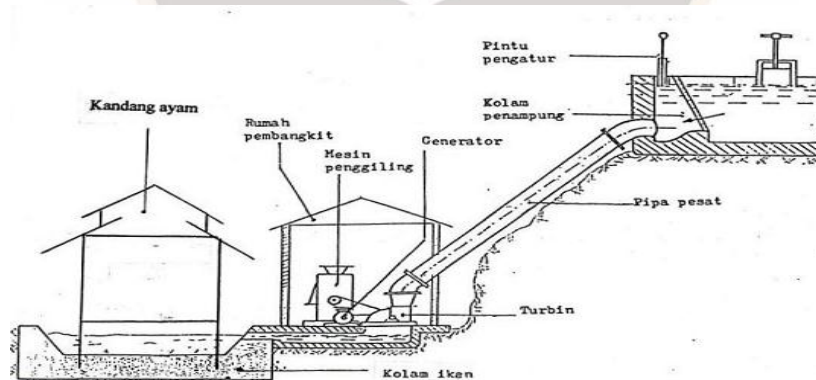
Gambar 2.2 *Turbine* yang sekaligus menggerakkan mesin giling kopi Pada PLTMH Silayang Pasaman, Sumatera Barat

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang akan dibangun di Desa Taratak Panas karena belum memiliki jaringan listrik PLN. Hasil pengamatan penelitian menunjukkan bahwa PLTMH dapat dibangun secara bertahap sesuai dengan jadwal, walaupun beberapa hal teknis terdapat kekurangan pendanaan, diantaranya jaringan listrik distribusi yang belum sepenuhnya dibangun/ disiapkan. *Turbine cros flow* sebagai penggerak mula dirancang dan dikerjakan sendiri oleh dibuat sendiri oleh tim peneliti. Memanfaatkan debit air 160 liter/detik dan head efektif 5 meter dapat dibangkitkan daya 5,7HP pada putaran *turbine* 420 rpm. Spesifikasi komponen pembangkit lainnya adalah pipa pesat yang digunakan berdiameter 50 cm, transmisi daya menggunakan V belt dengan ratio 1 : 4,25 generator AC tiga fasa kapasitas 10 KVA pada putaran 1500 rpm, sistem pengatur katup masih manual. Hasil pengujian menunjukkan, kemampuan sarana pengadaan air mencapai rata-rata 95%, *turbine* dan kelengkapannya mencapai 75%, generator dan kelengkapannya mencapai 92%, rumah pembangkit 98%, jaringan listrik 60% dan efisiensi *turbine* 81%.

“Rencana pembangunan PLTMH di kampung air rau ditinjau dari aspek teknis dan aspek finansial. Hasil penelitian menunjukkan dari aspek teknis pembangunan PLTMH dinilai layak karena beberapa indikator menunjukkan di kampung ini belum terdapat jaringan listrik sementara di sekitar kampung terdapat potensi air yang cukup besar yang mengalir melalui Batang Tabit dengan debit 0,2 m³/detik. Sepanjang sungai ini terdapat lokasi air terjun setinggi 4,5 m, indikator teknis lainnya yang mendukung ialah dipilihnya *Turbine Cros-flow* sebagai penggerak mula PLTMH dengan pertimbangan jenis turbin ini relatif lebih mudah dibuat sendiri. ”Daya yang dibangkitkan sekitar 6,5 kW yang cukup untuk memenuhi kebutuhan sekitar 20 kepala keluarga yang masing-masing membutuhkan daya listrik 200 Watt, aspek finansial dengan mengasumsikan umur ekonomis PLTMH sekitar 10 tahun, investasi Rp.35.540.000; nilai sisa Rp. 2.500.000; dan suku bunga 15%, diketahui hasil analisa empat indikator yang menjadi acuan yaitu *Pay Back Period (PBP)* = 8,6 tahun, *Benefit Cost Ratio (BCR)* = 1,05, *Net Present Value (NPV)* =4.440.000 dan *Internal Rate of Return (IRR)*= 18,5%. Keempat indikator menunjukkan nilai yang memuaskan sehingga direkomendasikan PLTMH dinilai layak dibangun di Kampung Air Rau”(Bachtiar & Putra, 2014).

Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Terpadu yang diorientasikan sebagai alternatif yang tepat dalam pendayagunaan sumber daya air di pedesaan untuk pembangunan. Peralatan dan perlengkapannya PLTMH Terpadu akan menghasilkan energi listrik yang murah dan dipadu dengan tiga usaha lain yaitu penggilingan hasil pertanian, perikanan air deras dan peternakan ayam yang berada dalam satu lokasi dan memiliki keterkaitan kepentingan yang sangat erat.

Keterkaitan itu diantaranya pertama, fungsi PLTMH disamping sebagai penggerak generator listrik juga pada siang hari dapat digunakan untuk menggerakkan mesin penggiling hasil pertanian. Kedua, air yang keluar dari PLTMH Terpadu dapat dimanfaatkan kembali untuk usaha perikanan air deras. Ketiga, kotoran dan pakan ternak yang tercecer akan jatuh dan masuk ke kolam dan menjadi makanan ikan. Keempat, listrik yang dihasilkan PLTMH disamping untuk penerangan desa juga dapat digunakan untuk penetasan dan pemanasan anak-anak ayam. PLTMH Terpadu ini direncanakan dibangun pada daerah aliran Batang Air Rau yaitu sebuah anak sungai yang melalui Kampung Air Rau, Desa VI Koto Utara, Kecamatan Kinali, Kabupaten Pasaman. Persyaratan teknis yang terpenuhi dan potensi ekonomi yang dimiliki desa sangat mendukung pada pembangunan PLTMH Terpadu ini. Diharapkan keberhasilan pembangunan PLTMH Terpadu nantinya akan menjadi proyek percontohan yang dapat merangsang penduduk desa lainnya untuk membangun PLTMH Terpadu di tempat masing-masing seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Sistem PLTMH Terpadu (Bachtiar & Putra, 2014)

Merancang sistem kendali dan pengembangan suatu algoritma cerdas untuk menghasilkan tegangan dan frekuensi nominal serta PLTMH beroperasi dalam keadaan stabil. Hasil penelitian telah berhasil menyimpulkan bahwa kinerja sistem kendali yang dirancang mampu menstabilkan tegangan keluaran generator 5 kW dengan menambah tegangan eksitasi sesuai dengan penambahan beban yang dilakukan. Penambahan tegangan dilakukan melalui penambahan tegangan keluaran digital to analog convention (DAC). Tegangan keluaran DAC disebut dengan tegangan aksi kendali yang merupakan hasil penalaran logika *fuzzy*. Hal ini membuktikan logika *fuzzy* mampu melakukan kendali sesuai yang diharapkan yang dapat diintegrasikan pada sistem kendali nyata PLTMH sebagai salah satu bagian pengendalian. ”Pengembangan selanjutnya adalah tahapan pengendalian frekwensi keluaran generator yang dikendalikan oleh penggerak mula (*turbine*). Kemampuan *mikrokontroller* Atmega 8535 hal ini dapat dilakukan dengan hanya menambah sensor *frekwensi*, DAC dan rangkaian pengendali daya. Apabila tahap ini dilalui, pengintegrasian seluruh sistem dapat dilakukan pada PLTMH sesungguhnya”(Naim et al., 2020).

“Penelitian untuk menghasilkan suatu program simulasi yang bersifat fleksibel yang praktis dan mudah diaplikasikan masyarakat membangun PLTMH di berbagai lokasi dengan variabel debit (Q) dan *head* (H). Hasil penelitian telah menghasilkan suatu program simulasi yang simpel, cukup dengan memasukan inputnya yaitu debit dan *head*, maka setelah program ini dijalankan (dieksekusi) maka akan tampil *output* berupa daya terpasang serta spesifikasi dimensi dari komponen-komponen turbine dan generator”(Sammartano et al., 2013).

”Sebagai studi kasus peneliti memilih lokasi di Desa Pelangai Gadang, Kecamatan Barung-barung Balantai, Kabupaten Pesisir Selatan. Kebutuhan daya listrik di desa ini sekitar 26 HP untuk disalurkan pada 50 rumah, 1 mesjid, 2 SD dan 1 puskesmas. Desa Pelangai Gadang terdapat air terjun dengan ketinggian 23m dan debit 0,3 m³/detik. Debit yang dapat dimanfaatkan masuk *turbine* 200 liter/detik dan *head* aktual sekitar 20 m dan *efisiensi turbine* 80%, akan dapat dibangkitkan daya sekitar 40 HP. Spesifikasi komponen *turbine* yang menjadi luaran dari program simulasi ini diantaranya daya generator 45 HP, panjang pipa pesat 25 m, *head* efektif 16 m, panjang *runner* 60 cm, diameter luar *runner* 40 cm, lebar katup 52 cm dan diameter poros *runner* 50 mm”(Sharma et al., 2011).

2.2 Teknologi Mekrohidro Model *Tube*

“Kemajuan ilmu Mekanika Fluida dan Hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbulah perencanaan-perencanaan *turbine* yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Masalah *turbine* air menjadi menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistem, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan *efisiensi turbine* yang maksimum”(Blazek, 2015).

2.3 Klasifikasi *Turbine Air*

“Berdasarkan beberapa kriteria, Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka *turbine* air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu:”(Belyakov, 2019)

a. *Turbine* Aliran Tangensial

Kelompok *turbine* ini posisi air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan *runner* berputar, contohnya *Turbine Pelton* dan *Turbine cros-flow*.

b. *Turbine* Aliran Aksial

Turbine ini ditandai dengan air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros, *Turbine* Kaplan atau Propeller adalah salah satu contoh dari tipe *turbine* ini.

c. *Turbine* Aliran Aksial - Radial

Pada *turbine* ini, air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. *Turbine Francis* adalah termasuk dari jenis *turbine* ini.

2.4 Klasifikasi *Turbine* Air Berdasarkan perubahan Fluida Kerjanya

“Berdasarkan Perubahan Fluida Kerjanya. Dalam hal ini *turbine* air dapat dibagi atas dua tipe”(Nostrand, 2005) yaitu:

a. *Turbine Impuls*.

“Semua energi potensial air pada *turbine* ini dirubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk/menyentuh *Blade runner* oleh alat pengubah yang disebut nozel. Jenis-jenis *turbine* antara lain: *Turbine Pelton* dan *Turbine Cross-flow*”(Voith, 2008).

b. *Turbine Reaksi*.

“Pada *turbine* reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan *Blade* pengarah, dengan demikian putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum air yang masuk. Jenis *turbine* reaksi diantaranya: *Turbine Francis*, *Turbine Kaplan* dan *Turbine Propeller*”(Junior et al., 2019).

2.5 Klasifikasi *Turbine* Air Berdasarkan Kecepatan Spesifik (n_s)

“Kecepatan spesifik dari suatu *turbine* ialah kecepatan putaran *runner* yang dapat menghasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter atau dengan rumus dapat ditulis.

$$n_s = n \cdot N_t^{1/2} / H_t^{5/4}$$

Diketahui, n_s = kecepatan spesifik *turbine*

n = Kecepatan putaran *turbine*..... rpm

H_t = tinggi jatuh efektif *turbine*..... m

N_t = daya efektif *turbine*..... kW

Setiap *turbine* air memiliki nilai kecepatan spesifik, menjelaskan batasan kecepatan spesifik beberapa *turbine* konvensional” (Balasubramanian, 2015).

Tabel 2.1 Kecepatan Spesifik *Turbine* Konvensional

No	Jenis <i>Turbine</i>	Kecepatan Spesifik
1.	Pelton dan kincir air	10 - 35
2.	Francis	60 - 300
3.	Cros-flow	70 - 180
4.	Kaplan dan propeller	300 - 1000

2.6 Klasifikasi *Turbine* Air Berdasarkan *Head* dan Debit.

Dalam hal ini pengoperasian *turbine* air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu:

- Head* yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka *Turbine* Kaplan atau Propeller cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
- Head* yang sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah *Turbine Francis* atau *Cros-flow*.

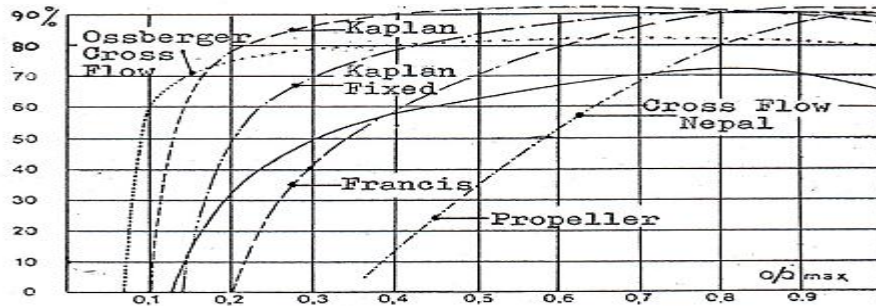
- c. *Head* yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah *turbine impuls* jenis Pelton.(Balasubramanian, 2015).

2.7 Keunggulan *Turbine Cros-flow*

"*Turbine Cros-flow* merupakan salah satu *turbine* air dari jenis *turbine* aksi (*impulse turbine*). Mula-mula seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903 menemukan prinsip kerja *turbine cros flow*. Penggunaan jenis *Turbine Cros-flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis *turbine pico hydro* lainnya. Penggunaan *turbine* ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran *Turbine Cros-flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air.

Diameter kincir air yakni roda jalan atau runnernya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter *Turbine Cros-flow* dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata *turbine* ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik *turbine Ossberger Jerman* yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedang efisiensi *Turbine Cros-flow* mencapai 82%. Tingginya efisiensi *turbine Cros-flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada *turbine* ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada *Blade* pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada *Blade* saat air akan meninggalkan *runner*. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem pengeluaran air dari *runner*. Kurva di bawah ini

akan lebih menjelaskan tentang perbandingan *efisiensi* dari beberapa *turbine* konvensional.



Gambar 2. 4 Kurva Efisiensi Beberapa *Turbine* dengan Pengurangan Debit Sebagai Variabel.

Gambar 2.4 memperlihatkan hubungan antara *efisiensi* dengan pengurangan debit akibat pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit terhadap debit maksimumnya. Untuk *turbine Cros-flow* dengan $Q/Q_{mak} = 1$ menunjukkan *efisiensi* yang cukup tinggi sekitar 80%, disamping itu untuk perubahan debit sampai dengan $Q/Q_{mak} = 0,2$ menunjukkan harga *efisiensi* yang relatif tetap.

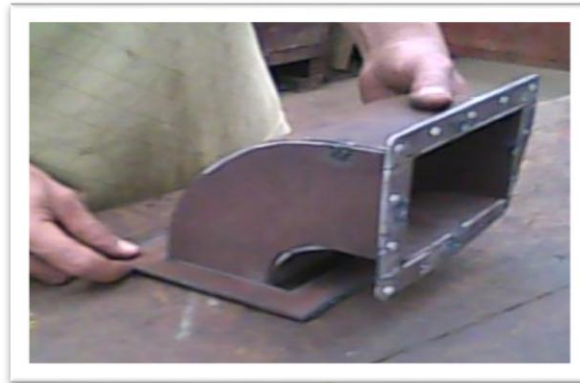
Secara kesederhanaan jika dibandingkan dengan jenis *turbine* lain, maka *turbine Cros-flow* yang paling sederhana. *Blade turbine pelton* misalnya, bentuknya sangat pelik sehingga pembuatannya harus dituang. Demikian juga *runner turbine francis*, *Kaplan* dan *Propeller* pembuatannya harus melalui proses pengecoran/tuang. Tetapi *runner turbine Cros-flow* dapat dibuat dari material baja sedang (*mild steel*) seperti ST.37, dibentuk dingin kemudian dirakit dengan konstruksi las. Demikian juga komponen-komponen lainnya dari *turbine* ini semuanya dapat dibuat di bengkel-bengkel umum dengan peralatan pokok mesin las listrik, mesin bor, mesin gerinda meja, bubut dan peralatan kerja bangku, itu sudah cukup. Kesederhanaan itulah maka *turbine Cros-flow* dapat dikelompokkan

sebagai teknologi tepat guna yang pengembangannya di masyarakat pedesaan memiliki prospek cerah karena pengaruh keunggulannya sesuai dengan kemampuan dan harapan masyarakat.

“Beberapa kelebihan *turbine Cros-flow* itulah, maka sampai saat ini pemakaiannya di beberapa negara lain terutama di Jerman sudah tersebar luas, bahkan yang dibuat oleh pabrik *Turbine Ossberger* sudah mencapai 5.000 unit lebih, sebagaimana diungkapkan oleh ”Haimerl. Artikelnya sebagai berikut “*Today, numerous turbines throughout the world are operating on the Cros-flow principle, and most of these (more than 5.000 so far) have been built by Ossberger*”. Selanjutnya Haimerl, menyatakan pula bahwa setiap unit dari *turbine* ini dapat dibuat sampai kekuatan kurang lebih 750 kW, dapat dipasang pada ketinggian jatuh antara 01 sampai 200 meter dengan debit air sampai 3 m³/detik. Cocok digunakan untuk PLTMH, penggerak instalasi pompa, mesin pertanian, *workshop*, bengkel dan lain sebagainya. Proses pembuatan *turbine* *cros flow* yang digunakan pada mikrohiro *tube* sebagai berikut:



Gambar 2. 5 Runner *Cros-flow*



Gambar 2. 6 Elbow *Turbine Cros-flow*



Gambar 2. 7 Katup *Turbine Cros-flow*

“Penggunaan *Turbin Cros-flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis *turbine* yang lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama”(Bachtiar & Putra, 2014). “Profil *Cros-flow* memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai 76% pada 150 rpm diikuti oleh profil *curved* dengan nilai 67% pada 150 rpm, dan profil *inverted conical* 42% pada 150 rpm”(Syafitri, 2018).