

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembangunan nasional digambarkan sebagai suatu lingkaran, maka titik pusat dari lingkaran tersebut adalah pembangunan pedesaan. Analogi ini didasarkan pada beberapa alasan di antaranya bahwa kurang lebih 80 % penduduk berdiam di pedesaan sehingga apabila pembangunan nasional itu bertujuan meningkatkan kesejahteraan rakyat, maka pembangunan dimaksud harus melibatkan secara langsung atau tidak langsung 80 % penduduk pedesaan tersebut. Dibandingkan dengan penduduk perkotaan, tingkat kesejahteraan masyarakat pedesaan relatif rendah. Dari aspek keadilan, pembangunan yang bertujuan meningkatkan kesejahteraan penduduk, maka meningkatkan kesejahteraan penduduk pedesaan perlu mendapat perhatian dan prioritas lebih. Alasan kedua ialah, potensi sumber daya alam sebagian besar terdapat di pedesaan berupa lahan pertanian yang subur, hutan, tenaga kerja, dan sumber air. Dengan kekuatan-kekuatan yang dimiliki pedesaan tersebut, maka pemanfaatan sumber-sumber daya alam tersebut mau tidak mau memerlukan adanya pembangunan (Prayitno, H., 1985).

Pendayagunaan sumber daya air di pedesaan adalah salah satu usaha pembangunan pedesaan tersebut. Pemanfaatan potensi energi air yang ada di pedesaan harus lebih ditingkatkan untuk meningkatkan kesejahteraan penduduknya yang umumnya berprofesi sebagai petani. Sebagai gambaran, menurut data Dinas Pertanian Rakyat DT. I Propinsi Sumatera Barat, pada tahun 1974 di Sumatera Barat terdapat 4082 unit kincir air penumbuk padi (Bappeda Propinsi Sumatera Barat , 1986). Data ini menunjukkan bahwa potensi energi air skala piko hidro di pedesaan Sumatera Barat cukup melimpah. Di samping itu, data ini juga menunjukkan bahwa dari dahulu masyarakat pedesaan di Sumatera Barat adalah masyarakat yang kreatif, cerdas, penuh kesadaran dan memiliki semangat yang tinggi berdikari membangun pembangkit piko hidro sendiri yakni membangun kincir air penumbuk padi dengan harapan dapat meningkatkan kesejahteraannya. Sementara, potensi energi air di tingkat nasional sekitar 76.170 MW. Namun sampai dengan tahun 2010 yang dimanfaatkan baru sekitar 4.410 MW saja atau baru sekitar 5,8 %. Pemanfaatannya sebesar 4.200 MW melalui pembangkit listrik tenaga air skala besar atau PLTA, dan sebesar 210 MW melalui

pembangkit tenaga air skala kecil atau mikro hidro dan piko hidro. Cadangan potensi energi air yang dapat dimanfaatkan ternyata cukup besar. Sementara, tingkat elektrifikasi di tingkat nasional baru sekitar 64 %. Jadi masih ada 36 % lagi daerah-daerah di Indonesia yang belum terjangkau jaringan listrik terutama pedesaan di luar Pulau Jawa (Dirjen LPE-DESDM, 2010). Oleh karena itu, untuk memicu pertumbuhan tingkat elektrifikasi ini, maka pemanfaatan tenaga air skala kecil yang tersedia di pedesaan harus lebih diprogramkan.

Salah satu kendala yang menghambat pengembangan pembangkit tenaga air skala kecil, khususnya pembangkit listrik tenaga piko hidro (PLTPH) selama ini, adalah pengadaan komponen penggerak mula (turbin) yang tidak mudah. Masyarakat untuk mendapatkannya harus memesan dahulu sehingga harga per unit turbin menjadi mahal karena ada biaya survey dan perencanaan yang harus ditanggung masyarakat. Akibatnya investasi piko hidro saat ini cukup mahal sekitar Rp 75.000.000 per kW bangkit (Paish *et al.*, 2010). Melalui penelitian ini dilakukan kajian mesin fluida solutif yang dapat difungsikan sebagai turbin air, yaitu blower sentrifugal dan pompa sentrifugal. Pada aplikasi sebagai turbin air, prinsip kerja blower/pompa dibalik, yaitu air dari ketinggian tertentu mengalir melalui sebuah pipa pesat (*penstock*) dan masuk ke sisi buang (*outlet*) blower/pompa hingga air dapat menggerakkan *impeller* blower/pompa. Putaran *impeller* ini akan diteruskan oleh sistem transmisi untuk menggerakkan generator listrik. Beberapa kelebihan aplikasi blower dan pompa sebagai turbin adalah, sebagai produk massal blower maupun pompa mudah diperoleh di pasaran dengan berbagai variasi *head* dan debit, tersedia dalam berbagai merk, tipe, dan ukuran, mudah dalam instalasinya, harga relatif murah, dan suku cadang mudah diperoleh. Aplikasi pompa dapat dikoneksi secara langsung dengan generator (*direct drive*) atau menggunakan transmisi mekanik belt-puli (*indirect drive*) apabila putaran pompa/blower sebagai turbin tidak sesuai dengan putaran generator.

Di samping motivasi praktis yang melatarbelakangi penelitian ini, juga perlu dukungan motivasi akademis berupa jurnal-jurnal penelitian yang terkait dengan penggunaan blower dan pompa sebagai turbin pada sistem pembangkit tenaga piko hidro. Hasil penelusuran literatur ternyata masalah tantangan dan pengembangan pembangkit tenaga piko hidro menjadi perhatian para peneliti dunia seperti Powell *et al.* (2018), Gladstone *et al.* (2014), Maher *et al.* (2014), dan Arriaga (2010) yang masing-masing menjelaskan perkembangan piko hidro di Malaysia, Rwanda, Laos dan Kenya. Peneliti lainnya berhasil merumuskan sistem pembangkit piko hidro seperti

penelitian yang dilakukan oleh Gaiser *et al.* (2016), Cobb *et al.* (2013), William *et al.* (2009), Simpson *et al.* (2012), Sopian *et al.* (2011), Singh *et al.* (2009), Fiala *et al.* (2010), Zainudin *et al.* (2010), Razaki *et al.* (2011), Susanto *et al.* (2012), Huwey *et al.* (2009), dan Ho-Yan *et al.* (2012). Gaiser *et al.* (2016) berhasil merancang turbin turgo yang hemat biaya yang dapat dioptimalkan untuk pembangkit piko hidro pada rasio kecepatan optimum adalah 0,425, jumlah sudu 25 buah, diameter jet optimum adalah 15,4 mm, dan rasio diameter *nozle* dengan jarak antara sudu (d/s) = 0,94. Kinerja turbin terbaik dapat dicapai ketika rasio (d/s) lebih besar dari 0,45 dan ketika jet diarahkan ke pusat sudu pada sudut 30° .

Tantangan lain yang menjadi daya tarik para peneliti adalah alternatif beberapa tipe turbin piko hidro seperti penelitian yang dilakukan oleh Sani (2019), Ho-Yan *et al.* (2011), Singh *et al.* (2010), dan Haidar *et al.* (2012). Gagasan mereka ialah bagaimana menciptakan model turbin yang berbeda dengan turbin konvensional lainnya serta melakukan langkah modifikasi runner turbin guna meningkatkan efisiensi. Sani (2019) berhasil menguji pemasangan impeller turbin pelton pada poros pompa sentrifugal multistage tekanan tinggi untuk mengembalikan daya input yang hilang pada sistem desalinasi air laut.

Selanjutnya penggunaan pompa menjadi turbin menjadi salah satu solusi yang ditawarkan oleh para peneliti agar masyarakat lebih mudah mendapatkan penggerak mula turbin yang berasal dari pompa seperti penelitian yang dilakukan oleh Novara *et al.* (2018), Carravetta *et al.* (2018), Barbarelli *et al.* (2017), Chuenchoopklin *et al.* (2010), Morgado *et al.* (2011), Viral *et al.* (2010), Yang *et al.* (2011), Derakhsan *et al.* (2009), Bozorgi *et al.* (2013), William *et al.* (2009), dan Ramos *et al.* (2010). Novara *et al.* (2018) menggagas pompa sebagai turbin air (*pump as turbine* = PAT) mengingat teknologi PAT cocok untuk pembangkit listrik skala kecil. Namun, hambatan penggunaan teknologi PAT adalah ketika pompa digunakan sebagai turbin tidak mempunyai jangkauan kecepatan spesifik. Kecepatan spesifik (n_s) PAT umumnya lebih kecil dari 60 dan untuk menghasilkan efisiensi PAT yang bersaing direkomendasikan nilai n_s berkisar antara 60 – 150.

Carravetta *et al.* (2018) menggagas pembangkit piko hidro yang murah dengan menggunakan PAT sebagai penggerak mula karena biayanya yang rendah. PAT adalah solusi optimal untuk pembangkit listrik tenaga air skala piko hidro. Hasil analisis diketahui investasi piko hidro dinilai layak jika kapasitas daya listrik lebih besar dari 380 kWh/bulan. Sementara, Rossi *et al.* (2017) melalui penelitian eksperimennya

menyimpulkan efisiensi maksimum PAT adalah 76 % yang dapat dicapai pada kecepatan spesifik 57 rpm dan hasil analisis potensi energi sebuah saluran distribusi kota menunjukkan bahwa PAT mampu membangkitkan daya sampai 19,18 kW dengan produksi energi listrik per hari 338,11 kWh. Chuenchoopklin *et al.* (2010) melakukan pengujian terhadap satu mesin fluida solutif yang difungsikan sebagai turbin, yaitu pompa sentrifugal. Pengujian yang dilakukan berhasil mengidentifikasi prestasi atau efisiensi pompa sebagai turbin mencapai 65 % pada *head* bersih 8,4 m dan debit air masuk turbin 18 L/s.

Secara umum, yang menjadi objek pengamatan para peneliti hanya fokus pada satu ukuran pompa saja, perbedaannya terletak pada variasi perlakuan saat pengujian. Sangat sedikit peneliti yang melakukan pengamatan terhadap lebih dari satu ukuran pompa, di antaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Singh *et al.* (2011), Yang *et al.* (2012), dan penelitian terbaru yang dilakukan oleh Jain *et al.* (2017), dan Liu *et al.* (2019) yang menganalisis efisiensi terbaik (*best efficiency point* = BEP) terhadap tiga macam pompa sentrifugal dari dasar perbedaan kecepatan spesifik dari 103 hingga 187.

Optimalisasi pompa sebagai turbin menjadi pengamatan beberapa peneliti di antaranya Jain *et al.* (2015) yang menjelaskan optimalisasi dirancang untuk mengetahui diameter dan putaran *impeller* yang optimum yang dapat menghasilkan efisiensi yang maksimum melalui pengujian terhadap tiga ukuran diameter *impeller* pompa pada tujuh variasi putaran. Pengurangan/pengecilan diameter *impeller* menyebabkan peningkatan efisiensi pada kondisi pengoperasian beban normal. Kinerja PAT diketahui lebih baik pada putaran yang lebih rendah dibandingkan dengan putaran normal. Efek dari pembulatan/perataan permukaan sudu *impeller* asli menyebabkan kenaikan efisiensi sekitar 3 % sampai 4 % yang terjadi pada kecepatan normal. Efisiensi maksimum diperoleh sebesar 76,93 % dengan *impeller* $d = 225$ mm diperkecil 10 % pada putaran 1100 rpm.

Peneliti lain, Yang *et al.* (2012) yang menjelaskan pengujian eksperimen dan numerik pengaruh pengurangan diameter *impeller* pompa sentrifugal sebagai turbin terhadap efisiensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit alir PAT pada posisi *best efficiency point* (BEP) bergeser dari 95,23 m³/jam menjadi 86,14 m³/jam dan kemudian bergerak kembali ke 93,63 m³/jam. Efisiensi di posisi BEP turun 4,11 % untuk *impeller* dengan diameter yang dikurangi dari 255 mm menjadi 215 mm. Optimalisasi PAT lainnya telah banyak dilakukan para peneliti, di antaranya Zhu *et al.* (2015) melakukan

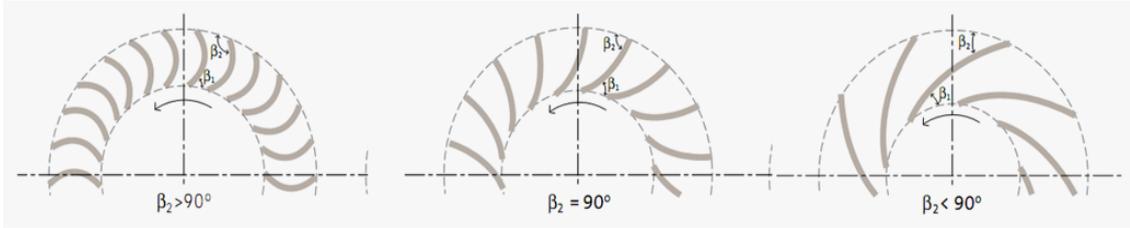
studi lengkap untuk mengoptimalkan PAT head menengah-tinggi dengan mempertimbangkan interaksi antara sudu, air, dan bentuk saluran. Rezaghi *et al.* (2016) mempelajari efek dari aliran transisi di dalam PAT karena fluktuasi tekanan. Sejalan dengan penelitian ini, beberapa penelitian dilakukan untuk meramalkan kinerja PAT. Rumus teoretis terkait PAT direkomendasikan oleh Williams *et al.* (1994), Stepanoff *et al.* (1997), Krivchenko *et al.* (1994), Sharma *et al.* (1985), dan McClaskey *et al.* (1976). Berdasarkan data eksperimen, diasumsikan bahwa efisiensi yang dicapai PAT di titik efisiensi terbaik (BEP) adalah sama dengan yang dicapai dalam pompa yang beroperasi pada *head* dan debit yang sama. Formula ini memungkinkan untuk dapat mengevaluasi debit dan *head* yang dimanfaatkan PAT pada posisi BEP.

Tahapan dalam menentukan trend kurva untuk mengevaluasi kinerja PAT di antaranya direkomendasikan oleh Singh *et al.* (2010) dengan menggunakan data yang diperoleh dari tiga pompa yang diuji pada kecepatan sudut yang berbeda. Peneliti lain, Yang *et al.* (2012) menjelaskan metode analisis dengan simulasi CFD dan uji laboratorium pompa sentrifugal sebagai turbin untuk memvalidasi hasil analisis sebelumnya. Selanjutnya, Yang *et al.* (2013) mempelajari efek pemangkasan PAT melalui uji laboratorium dan simulasi numerik. Sejalan dengan hal itu, Jain *et al.* (2017) melakukan tes laboratorium pada PAT yang memvariasikan kecepatan rotasi dan memangkas diameter hingga 80% dari ukuran awalnya untuk meningkatkan efisiensi pada beban sedang. Bozorgi *et al.* (2013) membandingkan hasil yang diperoleh dengan simulasi CFD menggunakan perangkat lunak NUMECA, dengan yang diperoleh dari tes laboratorium untuk memvalidasi hasil yang disimulasikan. Tan *et al.* (2016) menyajikan prediksi kinerja PAT mengacu pada sembilan metode sebelumnya yang terdapat dalam literatur dan dengan mempertimbangkan kecepatan dan diameter sebagai parameter utama. Giosio *et al.* (2015) mempelajari desain dan kinerja PAT yang sesuai antara lingkungan di pedesaan dengan instalasi pembangkit yang akan dibangun. Akhirnya, Barbarelli *et al.* (2016) melakukan analisis numerik satu dimensi yang dapat memprediksi karakteristik desain dan kinerja PAT yang digunakan dalam aplikasi di lapangan.

Selanjutnya, topik penelitian tentang kajian aspek garis alir atau *stream line* saat air melalui *impeller* turbin telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan menggunakan program *Computational Fluid Dynamics* (CFD) di antaranya Choi *et al.* (2010), Pereira *et al.* (2010), Simpson *et al.* (2012), dan Bozorgi *et al.* (2013). Pereira *et al.* (2010) menjelaskan, perilaku aliran menggunakan CFD untuk simulasi model aliran dengan

tujuan untuk meningkatkan pemahaman variabel-variabel yang mempengaruhi efisiensi. Sementara, Simpson *et al.* (2012) menjelaskan hasil penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan desain standar turbin *propeller* untuk pembangkit piko hidro. Hasil studi CFD digunakan untuk menganalisis desain *rotor* asli yang diketahui memiliki efisiensi yang rendah. Sebuah rotor baru dibuat lebih disederhanakan dan diketahui dapat memberikan kinerja yang lebih baik. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah dilakukan modifikasi, turbin memiliki efisiensi mekanis total 65 %. Selanjutnya, Bozorgi *et al.* (2013) menjelaskan kriteria penggunaan pompa sebagai pengganti turbin konvensional, aliran dan arah rotasi pompa dibalik, akibatnya perilaku hidrolis pompa berubah. Dalam studi ini, pompa telah disimulasikan dalam pembangkit terbalik dengan program CFD. Peneliti lainnya seperti Yang *et al.* (2011) menjelaskan bahwa pemahaman yang keliru tentang hubungan antara pompa dan kinerja PAT merupakan masalah utama yang dihadapi dalam pemilihan dan desain PAT. Oleh karena itu, metode yang akurat untuk memprediksi kinerja PAT diperlukan. Peneliti lainnya dengan bahasan yang sama adalah Derakhsan *et al.* (2010), yang menjelaskan penggunaan metode teoretis untuk menghitung titik efisiensi terbaik (BEP) pompa sentrifugal sebagai turbin pada kecepatan spesifik $n_s = 23,5$ (m, m^3/s) yang disimulasikan dengan menggunakan program CFD.

Studi literatur berikutnya berhasil merangkum kemiripan karakteristik pompa/blower dan turbin yang dapat memperkuat motivasi akademis di atas, yaitu bahwa antara pompa/blower, turbin dan pompa/blower sebagai turbin (PAT) memiliki karakteristik yang relatif sama, baik dari sisi konstruksi maupun proses kerjanya. Konstruksi rumah siput pompa sentrifugal dan turbin *francis* misalnya relatif sama sehingga aliran air saat masuk ke dalam PAT dan ke dalam turbin memiliki perilaku yang tidak berbeda. Demikian juga dengan analisis segitiga kecepatan pada pompa dan PAT relatif sama, yang membedakan di antara keduanya adalah arah kecepatan air saat meninggalkan/menuju *impeller*. Hal lain yang menarik tentang pompa adalah, diketahui ada tiga tipe *impeller* pompa sentrifugal dengan perbedaan terletak pada besar sudut saat air meninggalkan sisi luar sudu *impeller*, yaitu $\beta_2 > 90^0$, $\beta_2 = 90^0$, dan $\beta_2 < 90^0$. Dari ketiga tipe *impeller* pompa, seperti ditunjukkan pada Gambar 1, jika difungsikan sebagai turbin ternyata pompa dengan *impeller* sudut $\beta_2 > 90^0$ memiliki karakteristik yang relatif lebih dekat dengan turbin *francis* seperti ditunjukkan pada pada Tabel 1, baris 3. Hasil analisis ini semakin mempertegas hipotesis peneliti bahwa pompa maupun blower layak difungsikan sebagai turbin air.



Gambar 1. Tiga Tipe Impeller Pompa Sentrifugal (Chuch, 1986)

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Blower/Pompa, Turbin dan Blower/Pompa sebagai Turbin Air

No	Blower/Pompa	Turbin	Blower/Pompa sebagai Turbin Air
1	<p><i>Head (H)</i></p>		
2	<p>Konstruksi casing</p> <p>a) Aliran radial <i>volute</i></p> <p>b) Aliran aksial</p>		
3	<p>Aliran air ke luar/ masuk <i>impeller</i></p>		

Pompa sentrifugal menjadi salah satu objek pengamatan yang paling populer bagi para peneliti. Pengujian yang mereka lakukan umumnya menghasilkan satu variabel luaran saja, yaitu efisiensi dengan *head* sebagai konstanta, belum ada kajian yang menyeluruh. Dengan demikian, ada celah ilmiah yang belum terungkap. Untuk itu, perlu penelitian lanjutan yakni bukan hanya *head* sebagai konstanta, tetapi juga bukaan katup dan putaran dapat dijadikan sebagai konstanta. Pengamatan bukan terhadap karakteristik pompa sentrifugal saja tetapi juga perlu pengamatan terhadap karakteristik mesin fluida solutif lainnya yang dapat difungsikan sebagai turbin air. Sebagai alternatif adalah blower sentrifugal, baik blower sentrifugal fungsional maupun blower sentrifugal yang berasal dari komponen sebuah mesin seperti blower yang berasal dari komponen *turbo charger* mesin diesel. Kajian yang perlu ditelaah bukan hanya kajian prestatif saja melainkan juga kajian aplikatif, yaitu mewujudkan pembangkit tenaga piko hidro bagi masyarakat di pedesaan terisolir dengan menggunakan penggerak mula yang berasal dari salah satu mesin fluida solutif yang memiliki prestasi dan kelayakan teknis yang baik.

B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang terkait dengan penelitian turbin yang berasal dari pompa dan blower untuk sistem pembangkit tenaga piko hidro, yaitu:

1. Potensi air skala kecil dengan debit kurang dari 200 L/s cukup banyak terdapat di pedesaan Sumatera Barat. Akan tetapi kenyataannya potensi air tersebut belum dimanfaatkan secara optimal dengan membangun pembangkit listrik tenaga piko hidro. Masalah yang perlu ditindaklanjuti adalah bagaimana potensi air tersebut dapat menghasilkan rancangan dan mewujudkan model sistem pembangkit listrik tenaga piko hidro yang praktis dan murah yang dapat dibangun sendiri oleh masyarakat desa, khususnya oleh petani.
2. Selama ini turbin air yang dioperasikan pada sistem pembangkit tenaga piko hidro di antaranya adalah turbin *francis*, turbin *pelton*, turbin *propeller*, dan turbin *cross flow*. Semua penggerak mula turbin air tersebut beserta komponen pendukungnya tidak dijual bebas di pasaran, sehingga untuk mendapatkannya masyarakat harus memesan sendiri kepada pabrik turbin. Di Indonesia salah satu perusahaan pembuat turbin air yang dikenal masyarakat adalah CV. Cihanjuang di Kota Bandung. Dalam pengadaan unit turbin oleh masyarakat akan ada biaya survey dan perencanaan yang harus ditanggung oleh pembeli/masyarakat sehingga harga per unit turbin relatif

mahal, Hal itu jadi penghambat dalam pengembangan pembangkit piko hidro di pedesaan. Masalahnya sekarang adalah bagaimana dapat menentukan pilihan yang tepat terhadap mesin fluida solutif pengganti turbin air yang mudah diperoleh di pasaran.

3. Blower dan pompa sentrifugal adalah mesin fluida yang membutuhkan daya, jika arah aliran fluidanya dibalik maka blower dan pompa akan berubah fungsi menjadi turbin penghasil daya. Sebagai produk industri massal, pompa maupun blower mudah diperoleh dengan berbagai variasi *head* dan debit, tersedia dalam berbagai tipe dan ukuran, mudah dalam instalasinya, harga relatif murah, dan suku cadang mudah diperoleh. Aplikasi blower dan pompa sentrifugal sebagai turbin dapat dikoneksi langsung dengan generator, konstruksinya yang simpel, maka keduanya dapat dijadikan penggerak mula solutif pengganti turbin air konvensional dan turbin air modern lainnya. Yang perlu ditindaklanjuti, adalah bagaimana dapat merancang pengalihfungsian blower dan pompa menjadi turbin air sehingga dapat dihasilkan rancangan yang baku tentang sistem pembangkit piko hidro dengan tingkat efisiensi yang bersaing.
4. Dari penelusuran literatur, belum ada kajian variasi ukuran blower sentrifugal dan pompa sentrifugal yang difungsikan sebagai turbin. Beberapa peneliti hanya menggagas ide dan melakukan pengujian terhadap satu jenis mesin fluida saja yang difungsikan sebagai turbin yaitu pompa sentrifugal. Yang membedakan antara penelitian satu dengan penelitian lainnya terletak pada pendalaman salah satu sisi dari karakteristik pompa sentrifugal, seperti variasi *impeller*, *head*, debit, dan lokasi penelitian. Yang perlu ditindaklanjuti adalah bagaimana dalam penelitian berikutnya dapat dilakukan pengujian terhadap mesin fluida solutif lainnya dengan variasi tipe, dan ukuran khususnya blower sentrifugal dan pompa sentrifugal sehingga solusi yang ditawarkan kepada masyarakat lebih variatif. Dengan demikian, masyarakat akan lebih leluasa dalam membangun pembangkit tenaga piko hidro sesuai dengan kemampuan keuangan, potensi air, dan potensi mesin fluida solutif yang ada di lingkungannya.
5. Pengujian yang dilakukan oleh para peneliti terhadap blower dan pompa sentrifugal sebagai turbin hanya fokus pada kajian prestatif saja dan belum ada kajian yang paripurna. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan bukan hanya kajian prestatif saja, tetapi juga kajian aplikatif, yaitu menerapkan mesin fluida solutif yang paling layak teknis pada sistem pembangkit tenaga piko hidro permanen di masyarakat,

khususnya masyarakat petani di kampung terisolir yang belum memiliki penerangan listrik.

6. Sekitar 70 % penduduk Indonesia tinggal di pedesaan dan 80 % di antaranya berprofesi sebagai petani (Mosher, 1998), dengan demikian pembangunan desa yang dilaksanakan pada hakekatnya adalah pembangunan rumah tangga petani dan pembangkit tenaga piko hidro diharapkan menjadi *entry point* pembangunan desa. Di desa pula terdapat banyak barang produksi hasil pertanian, masalahnya adalah bagaimana pemanfaatan potensi energi dari pembangkit tenaga piko hidro untuk mengolah produk hasil pertanian guna meningkatkan pendapatan petani.
7. Peneliti telah melakukan studi literatur, survey, dan pengamatan di lapangan dan berhasil mengidentifikasi sedikitnya terdapat 46 unit pembangkit listrik tenaga mini, mikro dan piko hidro di Sumatera Barat seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Semua pembangkit tersebut menggunakan penggerak mula turbin-turbin konvensional seperti turbin *francis*, turbin *pelton*, turbin *propeller*, turbin *cross flow*, dan kincir air. Belum ada satupun pembangkit mini, mikro, dan piko hidro di Sumatera Barat yang menggunakan penggerak mula yang berasal dari pompa maupun blower. Dengan demikian, pembangkit piko hidro yang dibangun di Solok Selatan ini adalah satu-satunya pembangkit piko hidro di Sumatera Barat yang menggunakan penggerak mula pompa sentrifugal. Dalam mewujudkannya perlu identifikasi komponen-komponen yang dibutuhkan serta perlu dirumuskan dan dirancang bagaimana instalasi pembangkit yang praktis, mudah, dan murah sehingga dapat dilakukan pembangunannya oleh masyarakat desa

Tabel 2. Identifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Mini, Mikro, dan Piko Hidro yang Dibangun di Sumatera Barat dengan Penggerak Mula Turbin-turbin Konvensional (Enoh, R.M., 2010)

No	Nama Pembangkit, Lokasi/Tahun Pembangunan	Daya Bangkit (kW)	Penggerak Mula Turbin	Jumlah Rumah (Unit)	Pengelola
1	PLTPH Kuranji, Padang/1910	2 x 300	<i>Francis</i>	-	PT. Semen Padang
2	PLTPH Padang Sibusuk, Padang /1910	2 x 300	<i>Francis</i>	-	PT. Semen Padang
3	PLTPH Muara Labuh, Solok Selatan/1940	400	<i>Francis</i>	300	PLN
4	PLTPH Koto Anau, Solok/1975	150	<i>Francis</i>	200	PLN

Tabel 2. Lanjutan

No	Nama Pembangkit, Lokasi/Tahun Pembangunan	Daya Bangkit (kW)	Penggerak Mula Turbin	Jumlah Rumah (Unit)	Pengelola
5	PLTPH Sungai Puar, Agam/1976	70	<i>Pelton</i>	150	PLN
6	PLTPH Batu Bajanjang, Solok/1979	40	<i>Cross-flow</i>	250	Masyarakat
7	PLTPH Koto Lawas, Solok/1980	15	<i>Cross-flow</i>	100	Masyarakat
8	PLTPH Bukit Sileh, Solok/1981	10	<i>Cross-flow</i>	90	Masyarakat
9	PLTPH Salayo Tanang, Solok /1983	50	<i>Cross-flow</i>	200	Masyarakat
10	PLTPH Batu Banyak, Solok/1985	10	<i>Cross-flow</i>	70	Masyarakat
11	PLTPH Indudur, Solok /1985	10	<i>Cross-flow</i>	80	Masyarakat
12	PLTPH Baruh Gunung, 50 Kota/1986	10	<i>Cross-flow</i>	70	Masyarakat
13	PLTPH Siguntur Tua, Pesisir Selatan/1987	10	<i>Cross-flow</i>	70	Masyarakat
14	PLTPH Tamtaman, Agam/1988	10	<i>Cross-flow</i>	90	Masyarakat
15	PLTPH Gumarang, Agam/1988	10	<i>Cross-flow</i>	80	Masyarakat
16	PLTPH Koto Alam, Agam/1988	10	<i>Cross-flow</i>	90	Masyarakat
17	PLTPH Palembang, Agam/1989	20	<i>Propeller</i>	120	Masyarakat
18	PLTPH Talang Kuning, Pasaman Barat/1990	5	<i>Propeller</i>	50	Masyarakat
19	PLTPH Simpang Lolo, Pasaman/1991	5	<i>Propeller</i>	40	Masyarakat
20	PLTPH Pasir Lawas, Pesisir selatan/1991	10	<i>Cross-flow</i>	80	Masyarakat
21	PLTPH Bululaga, Pasaman Barat/1992	5	<i>Cross-flow</i>	40	Masyarakat
22	PLTPH Talang Kuning II, Pasaman Barat/1993	15	<i>Propeller</i>	125	Masyarakat
23	PLTPH Situak, Pasaman Barat/1994	10	<i>Cross-flow</i>	120	Masyarakat
24	PLTPH Sialang, 50 Kota/1994	10	<i>Cross-flow</i>	90	Masyarakat
25	PLTPH Punggasan, Pesisir Selatan/1995	30	<i>Cross-flow</i>	120	Masyarakat
26	PLTPH Ngalau Gadang /Pesisir Selatan/1997	30	<i>Cross-flow</i>	90	Masyarakat
27	PLTPH Kayu Kalek/ Solok/1997	10	<i>Cross-flow</i>	40	Masyarakat

Tabel 2. Lanjutan

No	Nama Pembangkit, Lokasi/Tahun Pembangunan	Daya Bangkit (kW)	Penggerak Mula Turbin	Jumlah Rumah (Unit)	Pengelola
28	PLTPH Silayang, Pasaman/1997	30	<i>Cross-flow</i>	90	Masyarakat
29	PLTPH Air Luo, Solok /1998	30	<i>Propeller</i>	85	Masyarakat
30	PLTPH Matundak, Pasaman/2000	15	<i>Propeller</i>	70	Masyarakat
31	PLTPH Tanjung Duria, Pasaman Barat/2000	10	<i>Propeller</i>	100	Masyarakat
32	PLTPH Kampung Baru, Pasaman Barat/2002	30	<i>Propeller</i>	160	Masyarakat
33	PLTPH Kinali, Pasaman Barat/2003	20	<i>Cross-flow</i>	80	Masyarakat
34	PLTPH Tandai, Solok / 2004	100	<i>Cross-flow</i>	150	Masyarakat
35	PLTPH Simp. Empat, Pasaman Barat/2004	10	<i>Propeller</i>	10	Masyarakat
36	PLTMH Muara Air, Pesisir Selatan/2005	40	<i>Propeller</i>	70	Masyarakat
37	PLTMH Paninjauan, Solok Selatan/2005	100	<i>Cross-flow</i>	60	Masyarakat
38	PLTMH Padang Aro, Solok Selatan/2006	16	<i>Cross-flow</i>	50	Masyarakat
39	PLTMH Sapan Salak, Solok Selatan/2006	50	<i>Cross-flow</i>	120	Masyarakat
40	PLTMH Sungai Nan Tigo, Solok Selatan/ 2013	20	<i>Cross-flow</i>	40	Masyarakat
41	PLTPH Ngalau Randah, Solok Selatan/ 2011	3	Kincir air	10	Masyarakat
42	PLTPH Mamping, Solok Selatan/2012	5	Pompa sentrifugal	12	Masyarakat
43	PLTPH Parit, Solok Selatan/2016	5	Kincir air	10	Masyarakat
44	PLTPH Mamping Ateh, Solok Selatan/2016	5	Kincir air	10	Masyarakat
45	PLTMH Manggis Ateh, Solok Selatan/2017	5	Kincir air	20	Masyarakat
46	PLTMH Manggis, Solok Selatan/2017	10	<i>Cross-flow</i>	40	Masyarakat

C. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang diteliti sesuai dengan identifikasi masalah yang ditemui di lapangan adalah:

1. Bagaimana karakteristik dan prestasi pompa dan blower sentrifugal fungsional sebagai turbin air ?
2. Bagaimana karakteristik dan prestasi blower sentrifugal *turbo charger* sebagai turbin air ?
3. Bagaimana hasil kajian aplikatif di masyarakat yang dapat meyakinkan bahwa pompa sentrifugal terbukti layak difungsikan sebagai turbin air melalui pembangunan PLTPH untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat petani di sebuah kampung terisolir ?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sesuai dengan perumusan masalah adalah:

1. Untuk menganalisis karakteristik dan prestasi pompa dan blower sentrifugal fungsional sebagai turbin air.
2. Untuk menganalisis karakteristik dan prestasi blower sentrifugal *turbo charger* sebagai turbin air.
3. Untuk menganalisis hasil kajian aplikatif di masyarakat yang dapat meyakinkan bahwa pompa/blower sentrifugal terbukti layak difungsikan sebagai turbin air melalui pembangunan PLTPH permanen untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat petani di sebuah kampung terisolir.

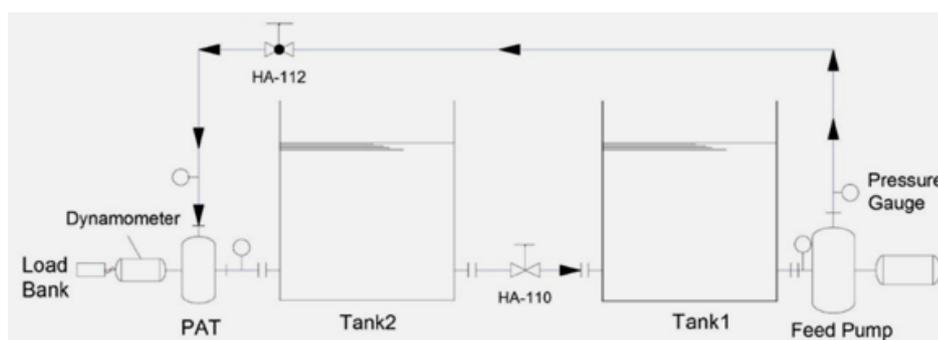
E. Manfaat Penelitian

Penelitian yang berkualitas salah satunya terukur dari manfaat dan kontribusi penelitian tersebut terhadap masyarakat. Demikian juga dengan penelitian ini yang menghasilkan temuan ilmiah yang bermanfaat untuk institusi pendidikan, khasanah pengetahuan, pemerintah, dan khususnya bagi masyarakat desa, yaitu:

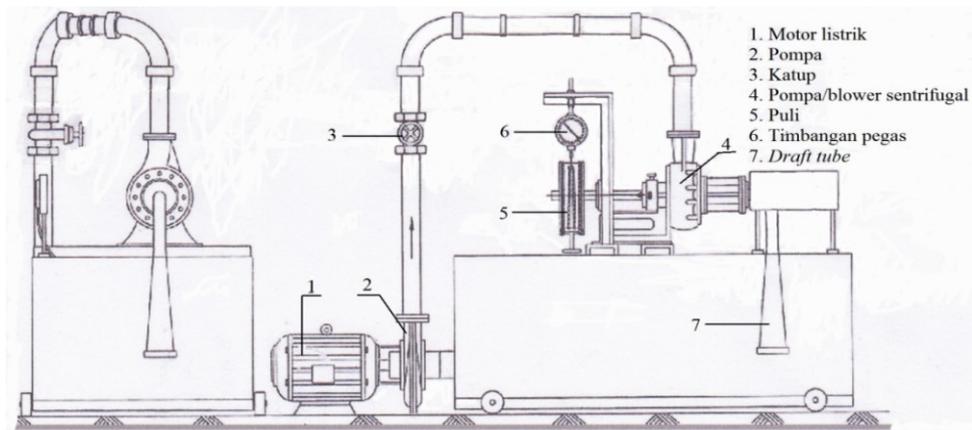
1. Penelitian ini menghasilkan temuan baru dari sistem pembangkit tenaga piko hidro dengan tiga macam penggerak mula solutif sebagai turbin air. Dengan demikian, penelitian ini dapat menghasilkan dokumentasi ilmiah hasil riset penting yang menambah literatur bagi kalangan akademisi, praktisi, dan peneliti.
2. Penelitian ini merupakan implementasi dari kewajiban perguruan tinggi untuk melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi yang salah satunya ialah melaksanakan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.
3. Penelitian ini berhasil mewujudkan teknologi tepat guna yang komponen-komponennya mudah didapatkan serta perakitan dan pembangunannya dapat

dilaksanakan oleh petani sendiri di pedesaan sehingga dapat mempercepat penyebaran pembangkit tenaga piko hidro di masyarakat.

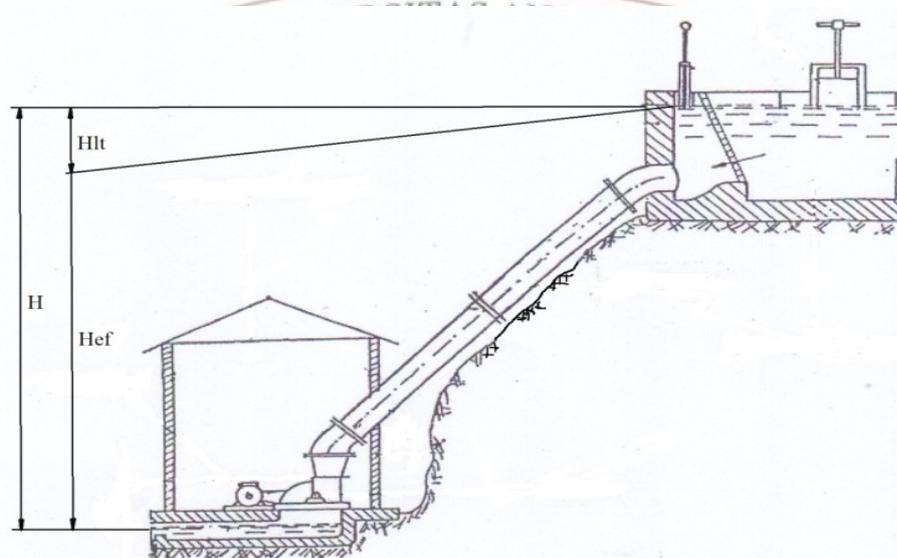
4. Penelitian ini menjadi inspirasi bagi masyarakat desa, khususnya bagi petani untuk lebih mendayagunakan potensi air yang ada di lingkungannya sebagai sumber energi alternatif yang bermanfaat.
5. Hasil penelitian ini juga menghasilkan informasi teknologi yang dapat dijadikan referensi bagi pemerintah khususnya lembaga/instansi yang terkait dengan pengembangan dan pemberdayaan masyarakat melalui penciptaan dan pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan di pedesaan.
6. Luaran dari penelitian ini salah satunya adalah terbangunnya sebuah bangunan pembangkit piko hidro permanen dengan penggerak mula pompa sentrifugal di sebuah kampung terisolir. Jika bangunan pembangkit ini dikelola secara baik akan dapat meningkatkan produktivitas yang pada akhirnya dapat meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan petani. Diharapkan pembangkit tenaga piko hidro yang telah dibangun ini menjadi proyek percontohan bagi desa-desa di sekitarnya.
7. Para peneliti melakukan penelitian, pengujian dan pengamatan karakteristik PAT dalam ruang lingkup skala labor seperti penelitian terbaru yang dilakukan oleh Liu, *et al.* (2019), Sani, *et al.* (2019), Venturini, *et al.* (2018), Rossi, *et al.* (2018), Abazariyan, *et al.* (2018), Yue, *et al.* (2018), dan Kramer, *et al.* (2018) yang salah satu di antaranya ditunjukkan pada Gambar 2. Sementara, penelitian eksperimen yang peneliti lakukan di samping dilaksanakan dalam skala labor juga melakukan penelitian dalam skala aplikatif di masyarakat, yaitu menerapkan salah satu mesin fluida solutif melalui pembangunan pembangkit listrik tenaga piko hidro permanen di sebuah kampung terisolir, seperti ditunjukkan Gambar 3 dan Gambar 4. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi yang lengkap pada ilmu pengetahuan dan dapat memberi manfaat yang nyata kepada masyarakat, khususnya kepada petani.



Gambar 2. Skema Instalasi Pengujian PAT Skala Labor (Abazariyan *et al.*, 2018)



Gambar 3. Skema Instalasi Pengujian Pompa dan Blower sebagai Turbin Skala Labor



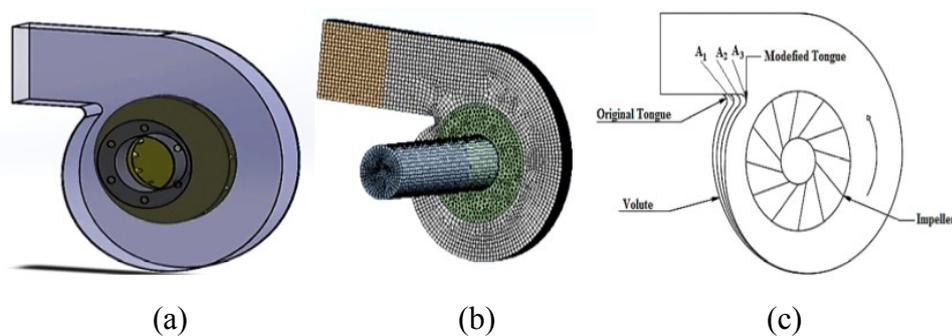
Gambar 4. Skema Pengujian Aplikatif Instalasi Piko Hidro di Masyarakat

F. Kebaruan Penelitian

Objek pengamatan dalam penelitian ini bukan hanya pompa sentrifugal saja, melainkan juga ada dua mesin fluida solutif lainnya yang dapat difungsikan sebagai turbin air, yaitu blower sentrifugal fungsional dan blower sentrifugal *turbo charger* yaitu blower yang berasal dari salah satu komponen motor bakar diesel. Terkait dengan hal itu, ada beberapa poin yang menjadi kebaruan dari penelitian ini, yaitu:

1. Hasil penelusuran literatur diketahui bahwa jurnal penelitian yang membahas kinerja blower sebagai turbin air khususnya blower sentrifugal masih relatif terb. Memang cukup banyak penelitian yang membahas blower sebagai objek pengamatan mereka, tetapi para peneliti tersebut membahas dari sudut pandang yang berbeda, seperti di antaranya penelitian terbaru yang dilakukan oleh Charapale *et al.* (2018),

Patil *et al.* (2018), Hering *et al.* (2018), Zhao *et al.* (2018), Zhang *et al.* (2017) dan Patidar *et al.* (2017). Charapale *et al.* (2018) melakukan studi pada blower sentrifugal industri untuk memprediksi aliran massa udara dengan menggunakan program *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Hasil numerik yang diperoleh dengan bantuan CFD lalu dibandingkan dengan kurva karakteristik yang dikeluarkan oleh pabrikan. Selanjutnya, Patil *et al.* (2018) fokus pada efek variasi jarak *volute tongue* terhadap kinerja blower sentrifugal sudu melengkung ke belakang seperti ditunjukkan Gambar 5. Empat blower sentrifugal dengan jarak *volute tongue* yang berbeda yaitu 6 %, 8 %, 10 %, dan 12,5 % dari diameter impeller digunakan untuk analisis numerik dan eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyempitan *volute tongue* memiliki efek yang signifikan terhadap kinerja blower sentrifugal dan parameter ini meningkat dengan penurunan jarak *volute tongue*.



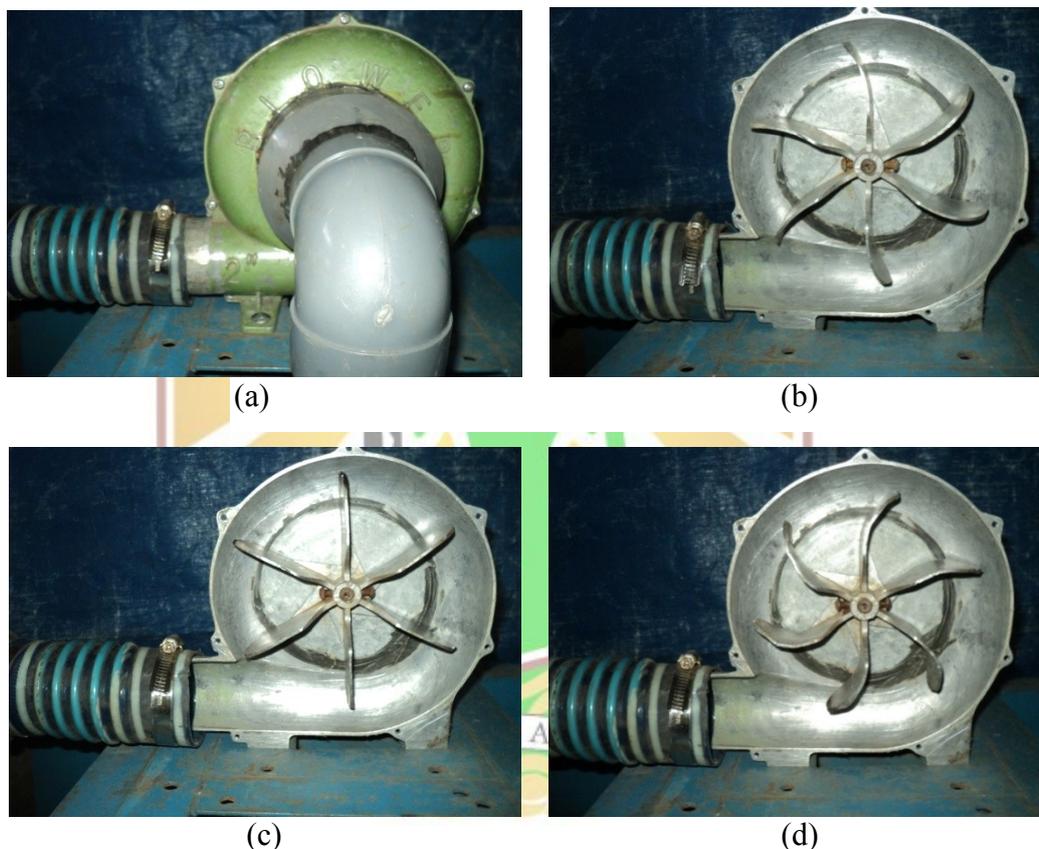
Gambar 5. (a) Blower Sentrifugal yang Diuji, (b) Model *Mesh* dan (c) Tahapan Modifikasi *Volute Tongue* (Patil *et al.*, 2018)

Memperhatikan hasil penelusuran literatur tersebut, maka penelitian tentang blower sentrifugal sebagai turbin air menjadi materi penelitian yang masih terbuka untuk didalami dan masih cukup banyak rahasia yang perlu diungkap oleh para peneliti. Penelitian ini menjelaskan kebaruan dan informasi baru yang belum dikemukakan oleh peneliti-peneliti sebelumnya terkait dengan fenomena blower sebagai turbin air, yaitu:

- a. Berbeda dengan pembahasan blower oleh para peneliti sebelumnya maka penelitian ini berhasil mengukur kinerja empat ukuran blower saat difungsikan sebagai turbin air. Parameter yang diuji adalah torsi, daya bangkit, dan efisiensi pada empat variasi *head* konstan, empat variasi bukaan katup konstan, dan empat variasi putaran konstan sehingga untuk masing-masing pompa maupun blower akan dihasilkan lebih dari dua puluh kurva karakteristik. Pembahasan pada

penelitian ini berbeda nyata dengan pembahasan oleh para peneliti lainnya, dengan demikian penelitian ini mempertegas akan ada kebaruannya.

- b. Penelitian ini sukses melakukan modifikasi terhadap kontruksi impeller blower dan berhasil menganalisis pengaruh variasi kelengkungan sudu impeller terhadap prestasi sebagai turbin air. Posisi sudu impeller asli atau sebelum dimodifikasi adalah membelakangi arah air masuk impeller atau sudut air ke luar sudu lebih besar dari 90^0 ($\alpha > 90^0$). Setelah dimodifikasi, ada dua variasi posisi sudu, yaitu sudu melengkung yang menantang arah air masuk impeller ($\alpha < 90^0$) dan sudu lurus atau tanpa melengkung ($\alpha = 90^0$) seperti ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. (a) Blower 2 inchi sebagai Turbin, (b) Setengah Bagian Rumah *Volute* Dilepas dan Tampak Sudu *Impeller* Asli, (c) Blower dengan *Impeller* Sudu Lurus, (d) Blower dengan *Impeller* Sudu Menantang Arah Air Masuk Sudu

- c. Penelitian ini menganalisis perbandingan karakteristik dan prestasi blower sentrifugal dengan karakteristik dan prestasi pompa sentrifugal sebagai turbin air, pengujian melibatkan tiga blower dan tiga pompa sentrifugal fungsional dengan menggunakan instalasi alat uji yang sama seperti ditunjukkan Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Pompa Sentrifugal Tipe PS 8000 Ukuran 2 inchi, 1,5 inchi dan 1 inchi yang Diuji Labor sebagai Turbin Air



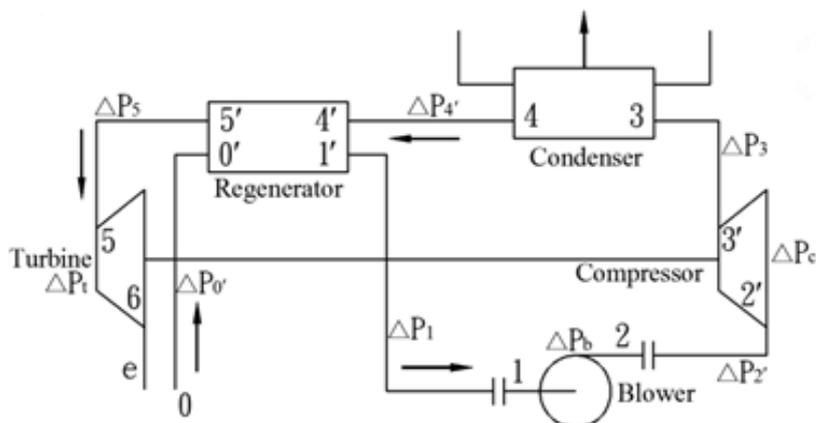
Gambar 8. Blower Sentrifugal Ukuran 4 inchi, 3 inchi, 2,5 inchi dan 2 inchi yang Akan Diuji Labor sebagai Turbin Air, Tampak Blower 4 inchi Masih Orisinil atau Belum Mengalami Modifikasi

2. *Turbo charger* adalah salah satu komponen penting yang mampu memberikan tambahan daya pada kendaraan motor diesel. Komponen *turbo charger* terdiri dari dua *volute chamber* (rumah keong), turbin gas, poros, dan blower, seperti ditunjukkan Gambar 9. *Volute chamber* berfungsi sebagai *casing* dari komponen turbin maupun blower, dengan *volute chamber* maka aliran fluida dapat diarahkan sesuai dengan bentuk dari *volute chamber*. Di dalam *volute chamber* pertama terdapat *impeller* turbin gas dan di dalam *volute chamber* kedua terdapat *impeller* blower, kedua *impeller* terpasang pada poros yang sama. Oleh karena konstruksi blower *turbo charger* menyerupai konstruksi turbin air, khususnya turbin *francis*,

maka peneliti terinspirasi untuk memanfaatkan kembali blower sentrifugal yang berasal dari komponen *turbo charger* mesin diesel yang sudah tidak digunakan lagi menjadi turbin air. dari penelusuran literatur, diketahui bahwa belum ada peneliti lain yang menggagas penggunaan blower *turbo charger* sebagai turbin air, beberapa peneliti membahas *turbo charger*, tetapi dengan pendalaman yang berbeda. Zhang *et al.* (2018) misalnya menganalisis kinerja siklus gas panas menggerakkan kombinasi turbin gas dan blower *turbo charger* yang diamati secara eksperimental yang skemanya ditunjukkan Gambar 10. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa rasio tekanan gas panas yang besar mampu menggerakkan turbin gas dan blower secara konstan. Sementara, pengukuran kinerja blower *turbo charger* sebagai turbin air yang dilakukan adalah penelitian pertama dan satu satunya dan belum ada peneliti lain yang mengamatinya sehingga semakin mempertegas kebaruan dari penelitian ini. Keberhasilan penelitian ini nantinya menjadi inspirasi dan solusi dalam mengatasi limbah permesinan khususnya komponen motor bakar diesel dari kendaraan/mobil-mobil tua yang banyak dijumpai di masyarakat.

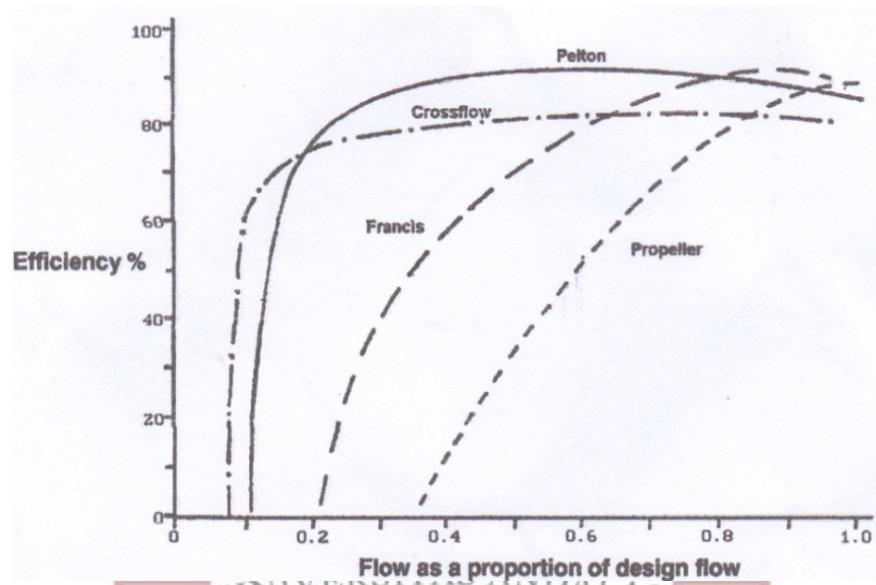


Gambar 9. *Turbo charger* dalam Kondisi Utuh dipandang dari Depan *Volute Turbin Gas*, sementara di Bagian Belakang tampak *Volute Blower* Beserta Lubang *Outletnya*



Gambar 10. Skema Siklus Udara Panas *Turbo Charger* (Zhang *et al.*, 2018)

3. Sampai saat ini kurva prestasi efisiensi yang sudah baku dan umum digunakan sebagai acuan oleh para praktisi dan pemerhati turbin air adalah kurva jangkauan prestasi efisiensi beberapa macam turbin konvensional yaitu turbin *francis*, turbin *propeller*, turbin *pelton* dan turbin *cross flow* seperti ditunjukkan Gambar 11. peneliti lain belum ada yang membuat kurva prestasi efisiensi mesin fluida solutif lainnya sebagai turbin air. Penelitian ini menghasilkan lima kurva efisiensi dari tiga mesin fluida solutif sebagai turbin air yang diuji yang dilakukan secara bersamaan dalam satu paket penelitian yaitu pompa sentrifugal, blower sentrifugal fungsional tanpa modifikasi ($\alpha > 90^0$), blower sentrifugal fungsional dengan modifikasi sudu melengkung ($\alpha < 90^0$), blower sentrifugal fungsional dengan modifikasi sudu lurus ($\alpha = 90^0$), dan blower sentrifugal *turbo charger*. Dari penelitian ini dihasilkan lima persamaan matematik trend efisiensi dari tiga macam mesin fluida solutif yang diuji sehingga dapat direkomendasikan mesin fluida solutif mana yang layak untuk dikembangkan di masyarakat. Inilah kebaruan lain dari penelitian ini yang dapat menjadi acuan peneliti dan praktisi di dalam merencanakan dan membangun pembangkit listrik tenaga piko hidro.



Gambar 11. Kurva Prestasi Efisiensi Turbin Konvensional (Paish *et al.*, 2010)

