

Cross-Flow Turbine Design of Micro hydro Power Generator for Rural Energy-Independent Area

Disain Turbin Aliran Silang Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bagi Kawasan Terisolir Mandiri Energi

Remon Lapisa^{1,4*}, Arwizet¹, Krismadinata², Prima Yane Putri³, Junil Adri¹, Firman Omni S¹,
Doni Saputra¹ dan Aldi Alfarizi¹

Abstract

This study aims to design a cross-flow turbine in a micro hydro power plant as an alternative energy source for Indonesian remote areas that do not have electricity. The research location for the turbine design in this study is in the Ngalau Baribuik, located in Batu Gadang, Lubuk Kilangan district, Padang city. Based on the analysis of water flow characteristics, the type of turbine that is suitable for low water debit and head condition is cross flow turbine. The geometry of the cross-flow turbine is designed by considering the power electricity needs of the community and the electrical potential at the site. This experimental research was carried out in two stages; field investigations related to water flow characteristics and energy need analysis of local communities, the design and manufacture of the turbine. Based on theoretical calculation, the cross-flow turbine can produce up to 5 kW of electrical power which can meet 70% of the community's energy needs.

Keywords

Micro hydro power plant, cross flow turbine, energy independent area

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah turbin aliran silang pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) sebagai alternatif sumber energi bagi daerah terisolir yang belum teraliri listrik. PLTMH dirancang untuk masyarakat kawasan Ngalau Baribuik yang berlokasi di Batu Gadang Lubuk Kilangan kota Padang. Berdasarkan analisis karakteristik aliran, untuk kondisi debit dan tinggi jatuh air yang kecil turbin yang paling sesuai digunakan adalah aliran silang. Disain dan geometri turbin disesuaikan dengan kebutuhan masyarakat dan potensi yang ada di lokasi. Penelitian eksperimen ini dilaksanakan dalam dua tahap; (a) investigasi lapangan terkait dengan karakteristik aliran air dan kebutuhan energi masyarakat, dan (b) proses perancangan dan pembuatan turbin. Secara teoritis, turbin aliran silang yang dirancang akan dapat memproduksi daya listrik hingga 5 kW yang akan memasok 25% kebutuhan energi masyarakat setempat.

Kata Kunci

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro, turbin aliran silang, kawasan mandiri energi.

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

³Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

⁴Centre for Energy and Power Electronics Reseach, Universitas Negeri Padang
Kampus UNP, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat

* remonlapisa@ft.unp.ac.id

Submitted : August 28, 2022. Accepted : March 07, 2023. Published : March 11, 2023.

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan mendasar yang sedang dihadapi oleh bangsa Indonesia dalam beberapa dekade belakangan ini adalah isu krisis energi termasuk kekurangan suplai listrik yang dihasilkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PT. PLN)[1], [2]. Produksi total yang dihasilkan oleh Perusahaan Listrik Negara sebagai produsen terbesar energi listrik di Indonesia belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan energi listrik nasional. Pada tahun 2019, total produksi energi listrik PLN tercatat sebesar 43.8 GW [3]–[5] dengan jumlah pembangkit sebanyak 5.987 units [5]. Dari total produksi ini, Sebagian besar dibangkitkan dan didistribusikan di pulau Jawa [6]. Total produksi listrik nasional pada tahun 2021 tercatat sebesar 177.5 TWh [7]. Produksi energi listrik ini berasal dari berbagai jenis sumber energi pembangkit antara lain: gas 0.96%, uap 39.6%, minyak bumi 6%, tenaga air 4% dan geothermal 0.96%, mikro hidro 0.04 % [7]. Di sisi lain, tingkat elektrifikasi nasional pada tahun 2021 tercatat sebesar 99.4 % [8]. Khusus untuk wilayah provinsi Sumatera Barat, rasio elektrifikasi tercatat sebesar 96.85 % [9]. Dari seluruh desa yang ada di Sumatera Barat, masih terdapat 7 desa yang belum teraliri listrik yang dipasok oleh PLN [10]. Meskipun sudah terjadi penambahan jumlah pembangkit dan peningkatan produksi PLN dari tahun ke tahun, namun belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan listrik di wilayah di Indonesia. Masyarakat yang tinggal di beberapa daerah terisolir belum menikmati listrik. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain; jauhnya jarak lokasi konsumen terhadap sumber produksi, tingginya biaya investasi pembangkit dan distribusi, dll.

Sebenarnya, Indonesia menyimpan potensi yang sangat besar dalam cadangan energi baik dalam bentuk energi fosil (minyak bumi, batu bara, dll) maupun sumber energi terbarukan. Beberapa sumber energi terbarukan yang tersedia sangat banyak di Indonesia seperti, energi radiasi matahari, energi angin, energi air, energi bio massa, energi geothermal, energi laut, dan lain-lain. Besarnya cadangan potensial energi terbarukan di Indonesia dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Besarnya cadangan sumber energi terbarukan yang dimiliki oleh Indonesia [11]

Sumber energi	Besar Cadangan
Mini / Mikro hidro	450 MW
Bio massa	50 GW
Energi Surya	4.8 k.W.h.m-2/hari
Energy angin	3-6 m.s-1
Nuklir	3 GW

Namun sangat disayangkan, berbagai sumber energi terbarukan yang gratis ini belum mampu dieksploitasi secara maksimal untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Salah satu faktor penyebab rendahnya persentase bauran energi terbarukan terhadap total produksi energi nasional di Indonesia adalah karena tingginya biaya investasi dan perawatan untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga energi terbarukan. Di sisi lain, jika dibandingkan dengan harga satuan listrik yang disediakan oleh PLN, biaya produksi pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan yang dilakukan secara mandiri oleh masyarakat terhitung jauh lebih tinggi. Konsekwensinya, masyarakat tetap mengandalkan produksi PLN sebagai sumber listrik untuk pemenuhan kebutuhan mereka. Sehingga secara nasional, pasokan listrik masyarakat masih tergantung terhadap produksi PLN. Untuk kedepan, seharusnya pemanfaatan sumber energi terbarukan secara mandiri oleh masyarakat harus lebih diintensifkan agar kebutuhan listrik nasional dapat dipenuhi secara menyeluruh. Khususnya untuk beberapa daerah terisolir yang belum mampu terpasok oleh PLN, perlu diberikan dukungan untuk mengembangkan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan

sumber energi terbarukan baik yang dikelola oleh pemerintah maupun pihak swasta atau masyarakat secara mandiri. Jika produksi mandiri yang dihasilkan oleh swasta dan masyarakat melebihi kebutuhan lokal, sisa energi dapat dijual ke PLN untuk didistribusikan ke daerah lain yang membutuhkan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) menggunakan turbin aliran silang yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber listrik bagi masyarakat kawasan terisolir Ngalau Baribuik yang berada di kelurahan Batu Gadang kecamatan Lubuk Kilangan kota Padang. Turbin pembangkit dirancang mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang berjumlah sebanyak 20 kepala keluarga [12]. Ukuran turbin dirancang dengan menyesuaikan jumlah kebutuhan energi dan besarnya potensi yang bisa dimanfaatkan pada lokasi penelitian. Untuk jangka panjang, turbin pembangkit ini diharapkan mampu memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan perekonomian dan kesejahteraan masyarakat di kawasan Ngalau Baribuik. Dengan adanya aliran listrik, maka produktivitas kegiatan ekonomi masyarakat dapat meningkat secara signifikan. Disamping itu, penelitian ini diharapkan mampu membantu program pemerintah dalam mempercepat pemenuhan rasio elektrifikasi nasional dengan mengembangkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro agar rasio elektrifikasi 100% dapat terealisasi hingga tahun 2025 [13].

METODE PENELITIAN

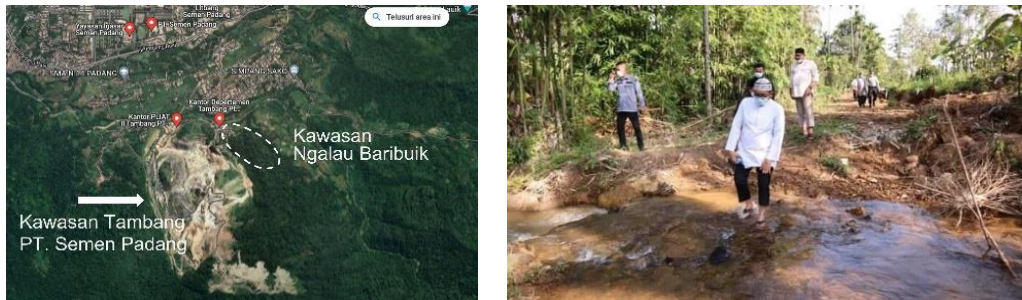
Turbin aliran silang PLTMH dalam penelitian eksperimen ini dirancang dengan mempertimbangkan beberapa aspek; (1) karakteristik aliran air dan potensi yang dimiliki (2) kebutuhan energi listrik masyarakat, dan (3) kesulitan proses pengerjaan yang terdiri dari pembuatan turbin, pemasangan generator dan pekerjaan prasarana sipil lainnya. Investigasi lapangan dilakukan untuk memperoleh data karakteristik aliran dan potensi yang dimiliki serta kebutuhan energi masyarakat. Berdasarkan data karakteristik aliran dan kebutuhan energi masyarakat, maka dilakukan perancangan PLTMH yang sesuai dengan kondisi lapangan.

Kondisi lokasi

Secara geografis, Ngalau Baribuik berada pada daerah perbukitan berdekatan dengan daerah pertambangan PT. Semen Padang, dengan ketinggian 468 m di atas permukaan laut [14]. Ngalau Baribuik merupakan bagian wilayah kelurahan Batu Gadang kecamatan Lubuk Kilangan kota Padang. Secara demografi, pada tahun 2017 Kelurahan Batu Gadang dihuni oleh 7.979 jiwa [15]. Karena berada pada daerah perbukitan, maka temperatur udara secara rata-rata pada daerah Batu Gadang lebih rendah dibandingkan dengan daerah lain di kota Padang. Curah hujan pertahun pada lokasi ini tercatat cukup tinggi. Dengan curah hujan yang cukup tinggi, lokasi ini dilewati oleh beberapa anak sungai dengan debit air yang cukup besar. Sebenarnya kawasan Ngalau Baribuik memiliki potensi sumber daya alam yang cukup besar yang bisa dikembangkan sebagai sumber penghasilan masyarakat seperti: (a) lahan pertanian dan perkebunan, (b) daerah aliran anak sungai untuk budidaya perikanan, sistem pengairan dan sumber air mineral (c) sumber daya hutan, dan (d) sumber energi terbarukan seperti tenaga air, tenaga angin dan tenaga radiasi matahari.

Secara umum, masyarakat Ngalau Baribuik memiliki mata pencarian sebagai petani, peternak dan pekebun. Beberapa komoditas hasil pertanian masyarakat daerah ini antara lain padi, perikanan dan peternakan. Disamping itu, daerah ini memiliki potensi besar dalam pengembangan bidang pariwisata. Pada tahun 2019 pemerintahan kota Padang telah menetapkan kawasan Ngalau Baribuik sebagai daerah destinasi wisata alternatif baru yang potensial di kota Padang [16]. Namun demikian, sarana prasarana yang ada di kawasan Ngalau Baribuik belum optimal dikembangkan untuk menunjang kegiatan pariwisata. Beberapa permasalahan yang dihadapi oleh masyarakat Ngalau Baribuik saat ini adalah;

terbatasnya akses jalan menuju kawasan dan belum masuknya pasokan listrik dari PLN. Kondisi ini menyulitkan masyarakat untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan kegiatan sosial ekonomi kemasyarakatan lainnya. Meskipun pada daerah ini sudah dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan kapasitas 8 kW, namun produksinya belum bisa memenuhi seluruh kebutuhan energi listrik bagi 20 kepala keluarga yang mendiami Kawasan tersebut. Adapun lokasi geografis dan kondisi lapangan kawasan Ngalau Baribuik dapat dilihat pada **Gambar 1**.



a.

b.

Gambar 1. a. Lokasi kawasan Ngalau Baribuik dilihat pada peta, b. kunjungan pemerintah kota Padang dalam rangka rencana pembukaan jalan (Sumber www.integritasmedia.com [17])

Analisis kebutuhan energi

Kawasan Ngalau Baribuik dihuni oleh kurang lebih 20 kepala keluarga. Meskipun sudah memperoleh listrik dari PLTMH yang ada sebelumnya, pasokan listrik bagi rumah warga dan fasilitas umum lainnya belum memadai. Berdasarkan investigasi lapangan terhadap kebutuhan listrik masyarakat, diperoleh data bahwa total kebutuhan masyarakat adalah sebesar kurang lebih 11 kW. Informasi lengkap terkait dengan prakiraan kebutuhan daya listrik masyarakat dapat dilihat pada **Tabel 2**. 72.7% Kebutuhan listrik warga selama ini dipasok melalui sebuah PLTMH berkapasitas 8 kW. Kurangnya kapasitas produksi PLTMH mengharuskan masyarakat melakukan pengaturan penggunaan peralatan rumah tangga secara ketat agar pemakaian tidak melebihi kapasitas produksi. Melalui rancangan PLTMH ini, diharapkan kekurangan 27.3% daya dari total kebutuhan listrik (3 kW) mampu dipasok untuk memenuhi seluruh kebutuhan warga.

Tabel 2. Prakiraan kebutuhan listrik masyarakat Ngalau Baribuik untuk 20 Kepala Keluarga

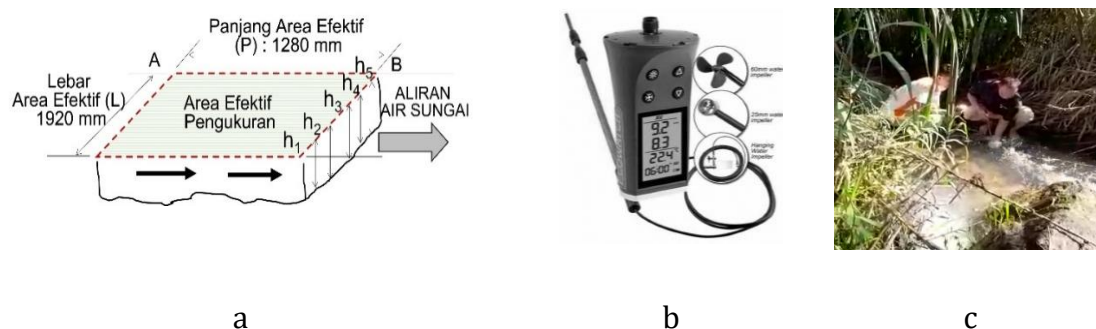
Kebutuhan	Unit	Kebutuhan (kW)
Rumah tangga	Pencahayaan rumah, 20 × 100 W	2
	Televisi & sarana hiburan lainnya, 20 × 150 W	3
	Lemari pendingin 20 × 150 W	3
	Peralatan lainnya (kipas, dll), 20 × 100 W	2
Rumah Ibadah	Penerangan dan lain-lain, 1 × 400 W	0.4
Fasilitas umum	Penerangan jalan, 20 titik, 20 × 30 W	0.6
Total kebutuhan		11

Karakteristik aliran

Karena berada di daerah pegunungan dengan curah hujan yang cukup tinggi, Ngalau Baribuik dilewati oleh anak sungai dengan debit aliran yang cukup besar. Anak sungai yang menjadi sumber energi ini mengalir melewati perumahan dan areal pertanian warga. Air yang mengalir pada anak sungai bersumber dari beberapa mata air yang terletak di kawasan perbukitan. Aliran air pada anak sungai ini tercatat relatif cukup stabil. Berdasarkan hasil

investigasi lapangan yang dilakukan pada pertengahan bulan April 2022, dimana saat itu merupakan musim kemarau, diperoleh data bahwa anak sungai ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber penggerak untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Untuk analisis kelayakan, beberapa parameter akan dianalisis dalam rangka menghasilkan sebuah rancangan turbin yang efektif dan efisien.

Pengukuran kecepatan dan debit aliran air dilakukan pada sebuah area efektif yang berada dalam aliran sungai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.a. Investigasi dilakukan dengan mengamati pola gerakan air dalam sebuah area efektif yang memiliki lebar melintang 1.920 mm dan panjang 1.280 mm searah dengan arah aliran. Dalam area ini, air bergerak dengan bebas tanpa hambatan dari benda disekitarnya seperti batu-batuan, tumpukan tanah atau pepohonan. Kecepatan air diukur menggunakan *Flowatch FL-03 Current Meter* yang memiliki *impeller* berdiameter 60 mm (Gambar 2.b). Alat ini bisa mengukur kecepatan aliran air dengan minimum sensitivitas 1 m.s^{-1} dengan nilai error sebesar $\pm 3\%$. Untuk memperoleh hasil yang baik, pengukuran kecepatan dilakukan secara berulang hingga tiga kali pada masing-masing titik ukur di beberapa lokasi di sepanjang area pengukuran efektif. Untuk validasi, hasil pengukuran flowatch dibandingkan dengan hasil pengukuran secara manual menggunakan sebuah benda ringan yang dialirkan bebas sepanjang area efektif. Sebuah potongan kayu dilepaskan bebas di atas permukaan air mulai dari garis A dan bergerak bebas mengikuti perpindahan air hingga mencapai garis B. Waktu tempuh benda untuk berpindah dari garis A menuju garis B dicatat menggunakan stopwacth digital. Pengambilan data manual dilakukan berulang sebanyak lima kali. Waktu tempuh rata-rata yang diperlukan oleh benda bergerak tercatat sebesar 2.59 detik. Dengan mengetahui jarak tempuh sebesar 128 cm dan waktu tempuh 2.59 detik, maka kecepatan rata-rata aliran air adalah sebesar 49.4 cm.s^{-1} . Selanjutnya, kedalaman sungai dihitung dari permukaan air diukur pada empat lokasi berbeda di sepanjang lebar area efektif; $h_1: 21 \text{ cm}$, $h_2: 28 \text{ cm}$, $h_3: 35 \text{ cm}$, $h_4: 26 \text{ cm}$ dan $h_5: 18.5 \text{ cm}$. Dari hasil pengukuran diperoleh kedalaman rata-rata air adalah sebesar 26.9 cm. Dengan luas penampang lintasan air $192 \text{ cm} \times 26.9 \text{ cm}$ dan kecepatan rata-rata 49.4 cm.s^{-1} , maka diperoleh debit aliran air sungai sebesar 141.5 liter/s. Pengukuran ini dilakukan pada musim kemarau dimana debit air sungai berada pada posisi minimal. Untuk perhitungan selanjutnya, debit air sungai ditetapkan sebesar 150 liter/detik.



Gambar 2. a. Area efektif pengukuran [18], b. Alat ukur kecepatan dan debit aliran air, c. Proses pengukuran debit aliran anak sungai

Observasi selanjutnya adalah mengukur tinggi jatuh air (*head*) yang bisa dikonversi sebagai energi kinetik air. Tinggi jatuh air ini diukur dengan membandingkan elevasi posisi *intake* pada kolam penampung dengan ujung nozzle air yang masuk ke dalam rumah turbin. Dari data survei lokasi diperoleh data bahwa tinggi jatuh air yang bisa diperoleh adalah $\pm 5 \text{ m}$. Berdasarkan studi literatur, jenis turbin yang paling sesuai digunakan untuk kondisi debit kecil (150 liter/detik) dan tinggi jatuh air yang rendah (5 m) adalah turbin aliran silang ([18],

[19]). Tinggi jatuh air merupakan sebuah parameter penting dalam menentukan kapasitas terpasang turbin yang ingin dihasilkan. Untuk mengukur tinggi jatuh air, beberapa alat dapat digunakan antara lain: *laser distance meter*, busur meter, dan lain-lain. Selain itu, pengukuran pada lokasi diperoleh data bahwa panjang pipa penstock yang dibutuhkan untuk lokasi yang dipilih adalah sepanjang 30 m.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data lokasi dan karakteristik aliran air yang diperoleh pada saat investigasi lapangan, maka dibuatlah rancangan turbin yang sesuai. Desain turbin ditentukan dengan mempertimbangkan kapasitas daya yang harus dihasilkan dan potensi yang dimiliki. Rancangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki beberapa komponen dasar seperti: turbin (*runner, blade, nozzle*), generator, rumah turbin, sistem perpipaan (intake, penstock), kolam penampung air, dan lain-lain [20].

Analisis potensi daya

Langkah awal yang dilakukan dalam rancangan pembangkit listrik adalah menghitung potensi daya yang bisa dibangkitkan [21]. Perhitungan daya (P) yang bisa dihasilkan dapat dilakukan menggunakan persamaan 1 [22]. Dimana η adalah efisiensi, ρ adalah massa jenis air (1000 kg.m^{-3}), g adalah gaya gravitasi (9.81 m.s^{-2}), Q adalah debit aliran (150 liter/detik) dan H adalah head efektif (5 m). Efisiensi pembangkit (η) dapat dihitung menggunakan persamaan 2 ([23], [24]).

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

$$\eta = \frac{1}{2} \cdot K_c^2 (1 + \psi) \cdot \text{Cos}^2(\alpha) \quad (2)$$

Dimana K_c adalah koefisien kecepatan air (0.98), ψ adalah konstanta aliran (0.98) dan α adalah sudut serang air terhadap runner (16°). Dengan memasukan nilai koefisien dan konstanta yang ada, maka diperoleh nilai efisiensi maksimal yang dapat diperoleh adalah sebesar 87.85 %. Dengan mempertimbangkan debit dan karakteristik aliran, maka rancangan turbin diasumsikan memiliki efisiensi lebih rendah yang diperkirakan sebesar 70 %. Setelah memperoleh seluruh koefisien, dengan menggunakan persamaan 1, maka nilai kapasitas daya yang bisa dibangkitkan dari potensi yang dapat dihitung dan bernilai sebesar 5.150 Watt. Sehingga rancangan turbin yang akan dibuat ditetapkan sebesar 5 kW.

Disain runner turbin

Runner merupakan bagian pada turbin yang bergerak akibat energi kinetik dari air yang menghantam turbin [25]. Pada runner, terdapat tiga jenis kecepatan; kecepatan absolut air yang keluar dari nozzle (V), kecepatan tangensial bagian terluar runner yang sedang berputar (U) dan kecepatan relatif air terhadap sudu-sudu yang bergerak pada runner V' (Gambar 3). Dari hasil penelitian terdahulu diperoleh data hubungan antara kecepatan tangensial dan kecepatan absolut yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan $U = 0.47 V$. Sedangkan kecepatan absolut air yang keluar dari nozzle dapat dihitung menggunakan persamaan 3. Kecepatan absolut air dapat diperoleh dengan menurunkan persamaan *Bernoulli*. Berdasarkan pernyataan *Bernoulli*, sebuah fluida yang bergerak memiliki tiga komponen energi: energi potensial, energi tekanan hidrostatis dan energi kinetik. Persamaan *Bernoulli* menyatakan bahwa tidak akan ada energi yang hilang pada fluida bergerak di antara dua titik yang berada pada sebuah garis *streamline*. Jika fluida memiliki tekanan yang rendah maka kecepatannya akan bertambah dan sebaliknya.

Dari persamaan diatas dapat diperoleh nilai kecepatan absolut air dan kecepatan tangensial *runner* masing-masing sebesar 9.7 m.s^{-1} dan 4.56 m.s^{-1} .

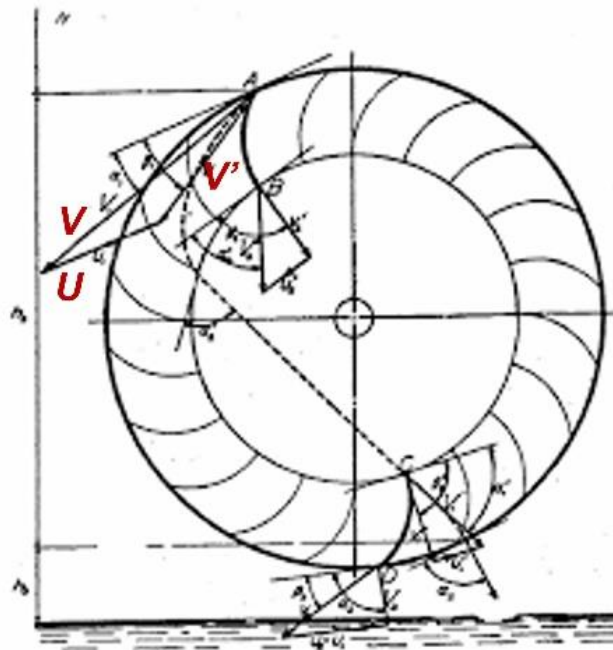
Geometri *runner* dirancang harus menyesuaikan kecepatan tangensial dan kecepatan sudut. Kecepatan tangensial *runner* (U) memiliki hubungan linear dengan besar diameter luar yang harus dirancang. Maka diameter luar *runner* (D_{out}) untuk kondisi kecepatan absolut air sebesar $9.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dapat ditentukan menggunakan persamaan 4 ([26]–[28]).

$$V = K_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (3)$$

$$D_{out} = 0,47 \cdot K_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (4)$$

$$L = \frac{Q}{S_o \cdot K_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} \quad (5)$$

Dari persamaan 4 dan persamaan 5, diperoleh nilai diameter luar *runner* untuk kondisi aliran air pada lokasi pengukuran adalah sebesar 24.5 cm (dibulatkan menjadi 25 cm).



keterangan, U kecepatan tangensial, V kecepatan absolut air dan V' kecepatan relatif

Gambar 3. Skema gaya dan kecepatan pada runner [23].

Parameter lainnya yang perlu untuk dihitung adalah panjang *runner* (L). Panjang *runner* sangat dipengaruhi oleh besarnya debit, ketebalan aliran air yang melintasi sisi dalam *runner* dan kecepatan absolut air yang menghantam sisi luar *runner*. Panjang *runner* secara umum dapat dihitung menggunakan persamaan 5 [29]. Dimana S_o adalah ketebalan jet aliran air yang mungkin terjadi. Nilai optimal dari S_o adalah sebesar $0.17 \times D_{out}$. Dengan menggunakan persamaan 5, maka panjang *runner* yang paling sesuai dengan kondisi lapangan adalah sebesar 36.3 cm.

Sudu runner

Sudu-sudu *runner* merupakan bagian penting dalam sebuah turbin. Bentuk dan ukuran sudu-sudu harus diperhitungkan dengan baik berdasarkan karakteristik yang dimiliki. Terkait dengan sudu, terdapat beberapa aspek yang penting untuk ditentukan antara lain: (a) panjang busur sudu yang setara dengan selisih antara diameter luar dan diameter dalam *runner*, (b) jari-jari sudu, dan (c) jumlah sudu. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu, diperoleh data hubungan antara panjang busur sudu (a) dengan diameter luar *runner* (D_{out}), jari-jari kelengkungan sudi (r) dapat dihitung menggunakan persamaan 6 dan persamaan 7.

$$a = 0.17 \cdot D_{out} \quad (6)$$

$$r = 0.16 \cdot D_{out} \quad (7)$$

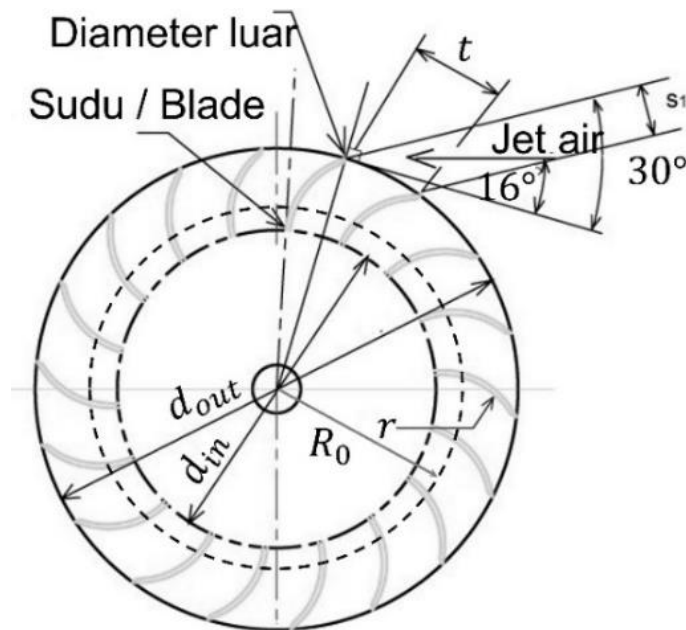
$$R_o = \sqrt{R_{in}^2 + r^2} \quad (8)$$

Dengan menggunakan persamaan 6 dan persamaan 7 diperoleh panjang busur dan jari-jari kelengkungan sudu sebesar 4.25 cm dan 4 cm. Geometri lain yang perlu ditentukan dalam rancangan sudu adalah jari-jari pusat kelengkungan sudu (R_o) yang dapat dihitung berdasarkan rumus pythagoras yang ditunjukkan pada persamaan 8. Dimana R_{in} adalah jari-jari dalam dari runner. Dengan memasukan seluruh variabel yang telah diketahui maka diperoleh besar jari-jari kelengkungan sudu untuk turbin yang dirancang sebesar 9.17 cm dengan sudut busur (δ) sebesar 73° . Jarak antar sudu pada runner (t) diperoleh sebesar 4.43 dengan total jumlah sudu (n) sebanyak 18 buah.

Dari perhitungan menggunakan seluruh persamaan yang diketahui maka karakteristik runner dapat ditentukan. Geometri dan karakteristik runner turbin secara lengkap dapat dilihat pada [Tabel 3](#) dan diilustrasikan pada [Gambar 4](#). Geometri dan karakteristik runner ini sangat menentukan besarnya daya yang bisa dihasilkan oleh turbin aliran silang yang dirancang.

Tabel 3. Karakteristik dan geometri turbin

Parameter	Simbol	Unit	Nilai
Potensi daya	P	kW	5
Efisiensi turbin	η	&	70
<i>Runner</i>			
Diameter luar	D_{out}	cm	25
Diameter dalam	D_{in}	cm	16.5
Panjang	L	cm	36.3
<i>Sudu turbin (blade)</i>			
Radial rim width	a	cm	4.25
Radius pusat kelengkungan	R_o	cm	9.17
Jari-jari kelengkungan	r		
Sudut kelengkungan	δ	$^\circ$	73
Sudut kemiringan sudu	$\delta/2$	$^\circ$	36.5
Jumlah sudu	n		18
Jarak antar sudu	t	cm	4.43



Gambar 4. Disain geometri runner pada turbin aliran silang

Disain konstruksi sipil

Konstruksi sipil yang diperlukan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang dirancang ini terdiri dari: kolam penampungan air (*water dam*), saluran masuk (*intake*), pipa saluran air (*penstock*) dan rumah turbin (*turbine house*). Bak penampungan air dibangun pada area terbuka di hulu anak sungai dengan ketinggian 467 m di atas permukaan. Untuk faktor keamanan, bak penampungan dibangun dengan pada lokasi berjarak 120 m dari rumah warga terdekat. Proses pembangunan bak penampungan air dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan analisis kelayakan dan ketersediaan lahan pada saat kegiatan investigasi, lebar sungai yang bisa dibendung adalah sekitar 2.8 m. Tanggul penampung air kemudian didirikan searah dengan aliran sungai pada sisi sebelah kanan dari sungai. Dari hasil survei, tinggi tanggul maksimal yang bisa dibangun adalah 1.2 m. Untuk mengoptimalkan energi kinetik yang dapat dimanfaatkan dengan memperhatikan jumlah debit air, maka diameter pipa *penstock* yang digunakan dalam rancangan ini adalah sebesar 10 inci.



a



b



c

Gambar 5. a. Pengerjaan awal bak penampungan air, b. pekerjaan 30% dan c. bak penampungan air

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Disain pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan menggunakan turbin aliran silang yang ada dalam rancangan ini, secara teoritis mampu menghasilkan daya listrik sebesar 5 kW

dan diharapkan bisa memenuhi kekurangan kebutuhan listrik bagi masyarakat kawasan Ngalau Baribuik Batu Gadang Lubuk Kilangan kota Padang. Turbin aliran silang menjadi pilihan optimal sebagai tenaga penggerak dengan mempertimbangkan kondisi lapangan dan karakteristik aliran sungai yang dimiliki. Turbin ini mampu memproduksi listrik pada kondisi tinggi jatuh dan debit air yang rendah masing-masingnya sebesar 5 m dan 150 liter per detik. Untuk dapat menghasilkan daya 5 kW, maka runner dirancang dengan diameter luar 25 cm dan panjang sebesar 36.3 cm. Jumlah sudu optimal diperoleh sebanyak 18 buah dengan jarak antar sudu sebesar 4.43 cm.

Saran

Untuk meningkatkan kapasitas produksi dan efisiensi pembangkit listrik tenaga mikro hidro dalam rancangan ini perlu dilakukan beberapa langkah antara lain: (a) meminimalisir aliran air yang tidak masuk ke dalam penstock, (b) melakukan analisis pipa penstock untuk mengurangi rugi-rugi aliran, (c) rekayasa saluran distribusi untuk menghindari kerugian saat transmisi. Disamping itu, untuk meningkatkan keamanan dan umur pakai PLTMH maka perlu dilakukan beberapa hal antara lain; memasang jaring pengaman pada lubang *intake*, melakukan pembersihan rutin pada bak penampung air dan melakukan perawatan berkala pada bagian-bagian penting dari turbin seperti bantalan, sistem pemindah tenaga dll. Disamping itu, perlu dilakukan sebuah pelatihan terpadu bagi masyarakat dalam melakukan pemeliharaan dan perbaikan secara mandiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan penghargaan yang tinggi dan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Negeri Padang yang telah membiayai Penelitian ini dengan nomor kontrak 1312/UN35.13/PM/2022.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] I. Sulistiatanie, "Pengaruh krisis energi global terhadap eksistensi PT. Pertamina sebagai industri minyak dan gas bumi di Indonesia," PhD Thesis, Perpustakaan, 2018.
- [2] H. A. Fitra and A. Asirin, "Ketahanan Masyarakat terhadap Ancaman Krisis Energi Listrik di Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung," *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, vol. 6, no. 2, pp. 58–73, 2018.
- [3] R. R. Al Hakim, "Model energi Indonesia, tinjauan potensi energi terbarukan untuk ketahanan energi di Indonesia: Sebuah ulasan," *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [4] F. Adjikri, "Strategi pengembangan energi terbarukan di Indonesia," *Jurnal Online Mahasiswa (Jom) Bidang Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [5] PLN, "Statistik PLN 2019." 2019. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/08/Statistik-2019-4-8-20-rev.pdf>
- [6] P. PLN, "Statistik PLN 2013," *Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero)*, 2014.
- [7] PLN, "Statistik PLN 2021." PT. Perudahaan Listrik Negara, 2021. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2022/03/Statistik-PLN-2021-Unaudited-21.2.22.pdf>
- [8] "Kementerian ESDM RI - Media Center - Arsip Berita - Triwulan III 2021: Rasio Elektrifikasi 99,40%, Kapasitas Pembangkit EBT 386 MW." <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/triwulan-iii-2021-rasio-elektrifikasi-9940-kapasitas-pembangkit-ebt-386-mw> (accessed Mar. 04, 2022).
- [9] Antaranews, "PLN targetkan 2019 rasio elektrifikasi Sumbar 96,85 Persen, resmikan listrik pedesaan di Mentawai," Feb. 25, 2019. [Online]. Available: <https://sumbar.>

- antaranews.com/berita/248070/pln-targetkan-2019-rasio-elektifikasi-sumbar-9685-persen-resmikan-listrik-pedesaan-di-mentawai
- [10] “Masih Ada Tujuh Desa Baru di Sumbar Belum Teraliri Listrik.” <https://sumatra.bisnis.com/read/20210108/534/1340391/masih-ada-tujuh-desa-baru-di-sumbar-belum-teraliri-listrik> (accessed Aug. 27, 2022).
- [11] Kementerian ESDM, “Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia,” 2016. <http://esdm.go.id/berita/37-umum/1962-potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia.html> (accessed Apr. 27, 2016).
- [12] Codingest, “Jalan Baru Ngalau Baribuik, Akses Wisata dan Perekonomian Warga,” padang.go.id, Aug. 31, 2021. <https://www.padang.go.id/jalan-baru-ngalau-baribuik-akses-wisata-dan-perekonomian-warga> (accessed Aug. 23, 2022).
- [13] “Kejar Rasio Elektifikasi 100 Persen pada 2025, PLN Minta PMN Rp10 Triliun.” <https://ekonomi.bisnis.com/read/20220621/44/1546280/kejar-rasio-elektifikasi-100-persen-pada-2025-pln-minta-pmn-rp10-triliun> (accessed Aug. 27, 2022).
- [14] “Semen Padang Bentangkan Bendera Raksasa di Puncak Bukit Karang Putih - ANTARA Sumbar.” <https://sumbar.antaranews.com/berita/210407/semen-padang-bentangkan-bendera-raksasa-di-puncak-bukit-karang-putih> (accessed Aug. 27, 2022).
- [15] “Kelurahan Batu Gadang, Lubuk Kilangan, Kota Padang.” <https://langgam.id/kelurahan-batu-gadang-lubuk-kilangan-kota-padang/> (accessed Aug. 23, 2022).
- [16] “Ngalau Baribuik, Destinasi Wisata Baru di Batugadang | Padek.co.” <https://padek.jawapos.com/pariwisata/01/09/2021/ngalau-baribuik-destinasi-wisata-baru-di-batugadang/> (accessed Aug. 23, 2022).
- [17] “Pemko Padang Tingkatkan Akses Wisata ke Ngalau Baribuik,” *Integritas Media*. <https://www.integritasmedia.com/2021/09/pemko-padang-tingkatkan-akses-wisata-ke.html> (accessed Aug. 23, 2022).
- [18] S. Sukardi, M. Giatman, R. Lapis, P. Purwantono, and R. Refdinal, “A Micro Hydro Power Generator as an Alternative Solution for Energy Problem Solving in Indonesian Remote Area,” presented at the 4 th International Conference on Technical and vocation Education and Training Padang, Padang, Nov. 2017, pp. 88–95. Accessed: Feb. 21, 2019. [Online]. Available: <http://repository.unp.ac.id/15073/>
- [19] Purwantono, “Model Pengemangan Kincir Screw Aksial sebagai Penggerak Pembangkit Listrik Mini Hidro,” Universitas Negeri Padang, Padang, 2015.
- [20] P. Purwantono, R. Lapis, and A. Kurniawan, “Turbin Air: Pengantar dan Aplikasinya di Lapangan,” 2020.
- [21] K. Krismadinata, A. Asnil, I. Husnaini, T. Andayono, M. Yandra, and R. Lapis, “Nagari Mandiri Energi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro,” *Suluah Bendang: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 22, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2022, doi: 10.24036/sb.03430.
- [22] C. Penche, *Layman's guidebook on how to develop a small hydro site*. DG XVII, European Commission, 1998.
- [23] C. A. Mockmore and F. Merryfield, “The Banki water turbine,” 1949.
- [24] D. H. Ngoma, Y. Wang, and T. Roskilly, “Crossflow Turbine Design Specifications for Hhaynu Micro-Hydropower Plant-Mbulu, Tanzania,” *Innov Ener Res*, vol. 8, no. 225, p. 2, 2019.
- [25] D. Riadi, R. Lapis, H. Nurdin, and M. Mulianti, “Analisis Kecepatan Air Masuk Terhadap Bukaannya Guide Vane Turbin Crossflow skala Piko Hidro dengan Simulasi CFD,” *VOMEK: Jurnal Vokasi Mekanika*, vol. 3, no. 3, pp. 94–101, 2021, doi: <https://doi.org/10.24036/vomek.v3i3.232>.

-
- [26] P. Verhaart, "Blade calculations for water turbines of the Banki type," *Eindhoven University of Technology*, 1983.
- [27] C. Popescu, "Design and Manufacturing of a Low Head Banki Turbine," in *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 371, pp. 672–676.
- [28] P. Purwoko, "Turbin aliran silang menggunakan sudu dari bilah pipa".
- [29] A. M. H. San San Yi and M. M. Sein, "Design of cross flow turbine (runner and shaft)," *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, pp. 736–740, 2018.