



Perancangan dan Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Aliran Sungai Brantas Sengkaling Kabupaten Malang Dalam Rangka Mencapai Target Energy Mix 23% Pada Tahun 2025

Muhammad Helmi Kurniawan¹, Dovian Iswanda², Annisa Kesya Garside³

¹ Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

² Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

³ Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang

¹ mr.helmi.kurniawan@gmail.com *, ² dovian12@gmail.com*, ³ annisa_garside@yahoo.com

Abstract

A micro-hydropower plant is a small-scale power plant that uses water as its propulsion and the prime mover is a turbine. This generating system is very appropriate to be used in rural areas because this system is easy to manufacture, produces a large amount of electrical power, and is relatively inexpensive to manufacture. Based on the above, it is necessary to design a turbine that supports this generating system, including the Cross-Flow Turbine. To design a water turbine so that there are no errors in the design (such as the cost of making it), then a design is carried out. A cross-flow turbine design is designed with a flow rate (Q) = 1.2 m³/s, head (H) = 17 m with an efficiency of 0.75. The main technical specifications from the results of the turbine design are runner diameter (D) = 510 mm, turbine shaft rotation 471 rpm with a specific speed of 61.33 rpm, water power of 200,124 kW, and producing electric power of 100.86kW.

Keywords: Micro-hydropower, Efficiency, Specific speed, Electric power.

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan air sebagai penggeraknya dan penggerak mula adalah turbin. Sistem pembangkit ini sangat tepat digunakan di pedesaan karena sistem ini mudah dibuat, menghasilkan daya listrik yang cukup besar dan biaya pembuatan yang lebih relatif murah. Atas dasar diatas maka perlu dirancang suatu turbin yang mendukung sistem pembangkit ini, diantaranya adalah Turbin Aliran Silang. Untuk merancang sebuah turbin air agar tidak terjadi kesalahan dalam perancangan (seperti hal-nya biaya pembuatannya) maka dilakukan perancangan desain. Sebuah perancangan desain Turbin Aliran Silang dirancang dengan debit (Q) = 1.2 m³/s, head (H) = 17 m dengan efisiensi 0,75. Spesifikasi teknik utama dari hasil perancangan turbin adalah diameter runner (D) = 510 mm, putaran poros turbin 471 rpm dengan kecepatan spesifik 61.33 rpm daya air 200.124 kW dan memproduksi daya listrik sebesar 100.86kW.

Kata kunci: Microhydro, Efisiensi, Kecepatan Spesifik, Daya Turbin.

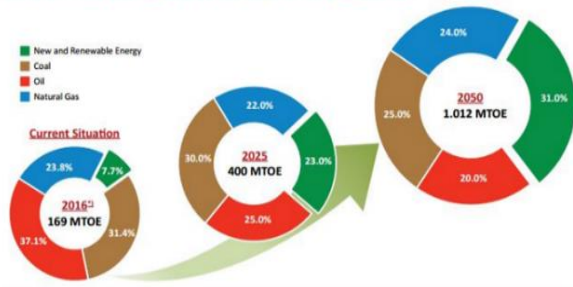
1. Pendahuluan

Konsumsi energi di seluruh dunia berkembang pesat, ini telah menciptakan permintaan yang meningkat untuk sumber daya terbarukan (EBT), yang pada gilirannya telah menghasilkan kekuatan pendorong untuk kemajuan teknologi. Air, angin, dan matahari semuanya mengandung sejumlah besar energi, dan ada pangsa pasar kuat yang muncul dalam metode berkelanjutan

untuk mengekstraksi potensi energi tersebut. Energi hidrokinetik merupakan sumber energi yang tersedia dari dalam aliran sungai dan saluran air dengan kecepatan air yang cukup untuk menggerakkan sudut turbin kinetik [1]

Turbin yang ada saat ini merupakan perangkat yang dirancang untuk mengubah sebagian energi kinetik dalam aliran air ke energi mekanik. Biasanya, energi ini pada akhirnya dikonversi menjadi listrik melalui generator dan beroperasi tanpa menyita air [2]. Menjadikannya pilihan yang layak di daerah di mana bendungan tidak akan layak dibangun dikawasan tersebut. Komitmen pembangunan energi bisa tercapai melalui optimalisasi sumber energi lokal dan bisa memenuhi target kebutuhan energi nasional dari pembangkit energi baru terbarukan sebesar 23% di tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Indonesia memiliki estimasi 75.670 MW potensi tenaga air dan tambahan 770 MW tenaga mikro untuk pembangunan 95% dari potensi PLTA yang masih belum dimanfaatkan [3].

INDONESIA'S NEW & RENEWABLE ENERGY TARGET



Gambar.1. Target energi baru dan terbarukan Indonesia.

Pemanfaatan tenaga air atau kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga air pada tahun 2013 baru mencapai 7.572 MW dari total potensi sumber daya air sebesar 75.000 MW atau mengalami peningkatan sebesar 80% dibandingkan tahun 2008 yakni sebesar 4.200 MW. Sedangkan kapasitas terpasang pembangkit listrik panas bumi pada tahun 2013 mencapai 1.343,5 MW, meningkat sebesar 13% dibandingkan dengan pada tahun 2008 yakni sebesar 1.189 MW, atau tumbuh rata-rata per tahun sebesar 2,6% selama 5 tahun terakhir. Sementara itu sumber energi non fosil/terbarukan lainnya, pemanfaatannya belum optimal, seperti diperlihatkan pada tabel 1 Sumber energi non fosil lainnya pemanfaatannya belum maksimal dan masih memerlukan upaya-upaya agar sumber daya energi tersebut dapat dipercepat dimanfaatkan untuk memaksimalkan kontribusi energi non fosil didalam bauran energi Nasional [4].

Tabel 1. Potensi Energi Non Fosil Indonesia (Tahun 2008 & 2013)

NO	ENERGI NON FOSIL	SUMBERDAYA (Sd)		KAPASITAS TERPASANG (Kp)		PERBANDINGAN Sd/Kp (%)	
		2008	2013	2008	2013	2008	2013
1	2	3	4	5-4/3	6-4/3	7	8
1	Tenaga Air	75.670 MWe	75.000 MW	4.200 MW	7.572 MW	5,55	10,1 %
2	Panas Bumi	28.170 MWe	28,62 MW	1.189 MW	1.343,5 MW	4,20	4,7 %
3	Mini/MicroHydro	500 MWe	769,69 MW	86,1 MW	228,983 MW	17,56	29,75 %
4	Biomassa	49.810 Mwe	49.810 MW	445 MW	1.716,5 MW	0,89	5,26 %
5	Tenaga Surya	4,80 kWh/m ² /hari	4,80 kWh/m ² /hari	14,1 MW	42,77 MW	-	-
6	Tenaga Angin	3-6 m/detik	3 - 6m/s	1,4 MW	1,87 MW	0,02	-
7	Uranium	3.000 MW (e.q. 24.112 ton) selama 11 tahun	3.000 MW	30 MW	30 MW ^a	1,00	0 %
8	Energi Laut		49 GW		0,01 MW ^b		0 %

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian diatas dapat dikemukakan bahwa penggunaan sudu yang tepat dapat memperbesar gaya tangensial yang akan meningkatkan kinerja turbin cross flow. Sementara itu kinerja turbin cross flow itu sendiri dapat ditingkatkan dengan menambah masa aliran air yang menumbuk sudu turbin. Ukuran lebar sudu berkaitan erat dengan luasan sudu dimana hal ini akan mempengaruhi besarnya masa aliran yang menumbuk sudu dan pada akhirnya menentukan besarnya efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin cross flow.

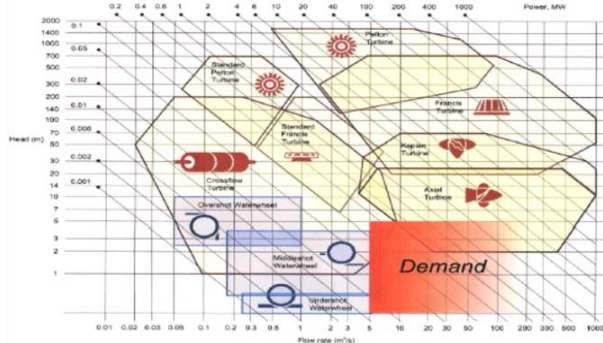
2. Metode Penelitian

Metode penelitian diawali dengan mengumpulkan data-data sekunder meliputi data-data historis curah hujan, hari hujan, kelembaban, temperatur udara, dan kecepatan angin, dan topografi. Pengumpulan data-data primer dilakukan melalui pengamatan langsung di obyek penelitian untuk mengetahui kondisi letak geografis guna menentukan jalur PLTMH yang ideal. Secara ringkas alur penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data-data sekunder diambil dari stasiun hujan Kabupaten Malang.
2. Menghitung neraca air, debit air dan debit air andalan.
3. Menentukan lokasi dan merancang jalur PLTMH, menghitung dimensi penstock, rugi-rugi head, dan head efektif.
4. Menghitung potensi daya air, menentukan daya turbin PLTMH, daya generator listrik, dimensi turbin air crossflow dan dimensi generator.

2.1 Kriteria Pemilihan Turbin

Naskah Dalam pemilihan jenis turbin terdapat beberapa parameter, yaitu : (1) Faktor tinggi jatuhan air efektif (Net Head) dan debit (Q) yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada head tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada head rendah. (2) Faktor daya (power) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia. (3) Kecepatan dan putaran turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem transmisi direct couple antara generator dengan turbin pada head rendah, sebuah turbin reaksi (propeller) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin crossflow berputar sangat lambat (low speed) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi. (4) Jumlah turbin dalam pembangkit, hal ini berhubungan dengan transportasi, maintenance dan optimalisasi kapasitas pembangkitan dari turbin tersebut. Untuk menentukan jenis turbin yang akan digunakan dapat dengan melihat beberapa grafik empiris yang telah ada, seperti gambar.1.2 menunjukkan daerah penggunaan untuk beberapa jenis turbin berdasarkan Debit vs Head yang divariasi dengan daya keluaran turbin [5].



Gambar 2. Grafik pemilihan tipe turbin berdasarkan debit (Q) dan head (H) [6]

2.2 Daya desain per unit Turbin (Pd)

Perhitungan Daya turbin berdasarkan sistem satuan SI Unit adalah [7]:

$$P = Q * \rho * g * H * \eta_T \tag{1}$$

Keterangan

P = berat jenis air = 1000 kg/m³

Q = debit air (m³ / det)

H = tinggi air jatuh (m)

G = gravitasi (m/det²)

η_T = efisiensi turbin.

2.3 Kecepatan Spesifik (ns)

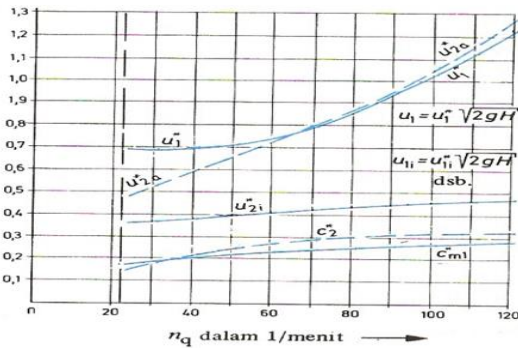
Kecepatan spesifik turbin (n) didefinisikan sebagai suatu kecepatan putar turbin dimana dapat dihasilkan 1 hp untuk setiap 1 m tinggi air jatuh (head). Kecepatan spesifik dinyatakan dengan persamaan :

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{5}{4}}} \tag{2}$$

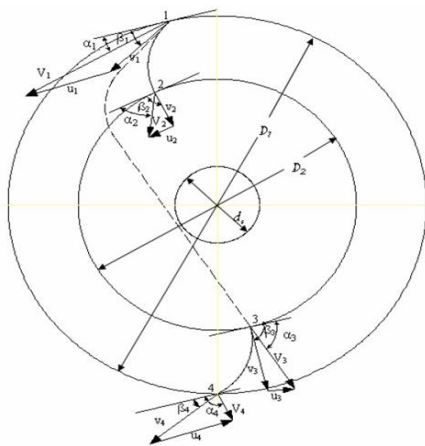
2.4 Ukuran – ukuran utama runner

Kecepatan meridian (Cm) Kecepatan Meridian ditentukan dengan persamaan;

$$c_{m1} = c_{m1} * \sqrt{2 * g * H} \tag{3}$$



Gambar 3. Harga harga berdasarkan pengalaman untuk penentuan pertama ukuran-ukuran pokok Turbin Crossflow (informatif).



Gambar 4. Water Flow Path through the Runner and Velocity Diagram [8]

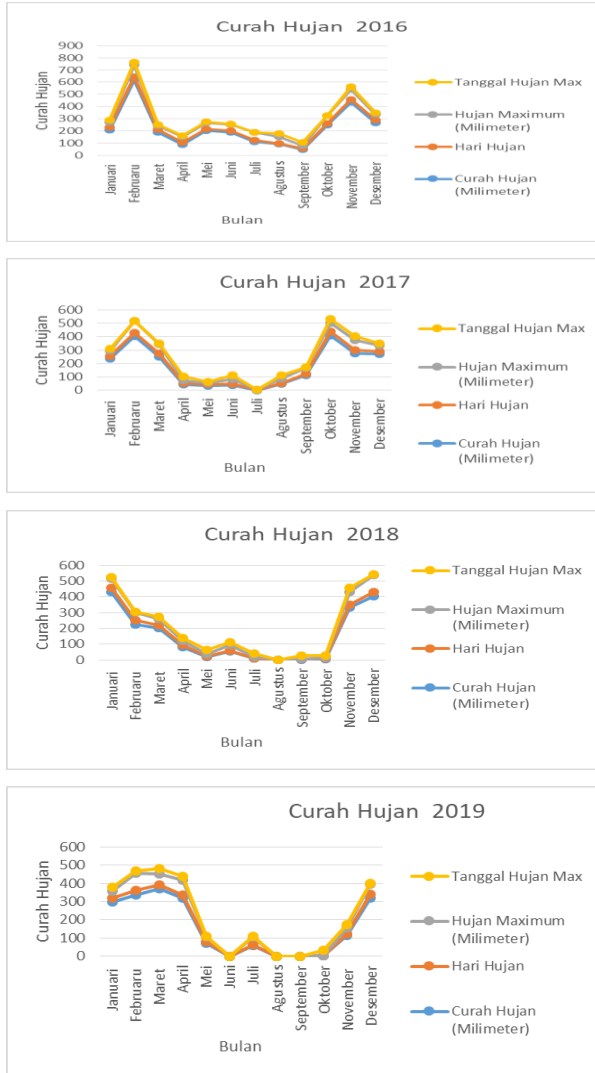
Pada gambar 4 diatas dijelaskan aliran air yang masuk dari bagian sisi luar pelari ke bilah tahap pertama

mengalir melintasi ruang dalam di pusat pelari kemudian mengalir lagi ke sisi lain pingiran luar pelari melalui kedua sekat. Aliran turn-around tahap pertama disebabkan oleh sebagian aliran di sepanjang bagian gauge vane tidak dapat menyeberang karena didorong oleh aliran di sepanjang bagian bawah gauge vane. Akibatnya, aliran di outlet gauge vane memiliki tekanan yang cukup besar dan bukan jet bebas. Ada juga data terukur bahwa Cross-Flow dipercepat dari outlet tahap pertama ke saluran masuk tahap kedua di ruang dalam, sehingga segitiga kecepatan aliran tidak akan menjadi homolog baik di outlet tahap pertama maupun di saluran masuk tahap kedua [9]. Sebelum merancang turbin, komponen, prinsip operasi dan karakteristik kinerja harus dipelajari. Komponen utama turbin cross-flow adalah runner, shaft, bearing, casing, draft tube, guide vane dan katub. Pada turbin ini guide vane berbentuk elips panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Fungsi utamanya adalah mengubah total head yang tersedia menjadi energi kinetik dan secara bersamaan mengalirkan air ke bilah runner pada sudut yang diinginkan. Casing turbin harus dibangun dengan baik dan kokoh, karena mengatur kekuatan air yang masuk serta daya poros yang keluar. Bentuk dan dimensi casing berpengaruh signifikan terhadap efisiensi. Draft tube dipasang di bawah casing. Untuk memanfaatkan efek draf, ujung tabung terendam di bawah permukaan air ekor. Fungsinya untuk memulihkan sebagian besar sisa energi yang tertinggal pada aliran air yang keluar dari runner, head antara turbin dan tail water. Poros adalah komponen alat mekanik yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga dari tenaga hidrolik ke tenaga mekanik.

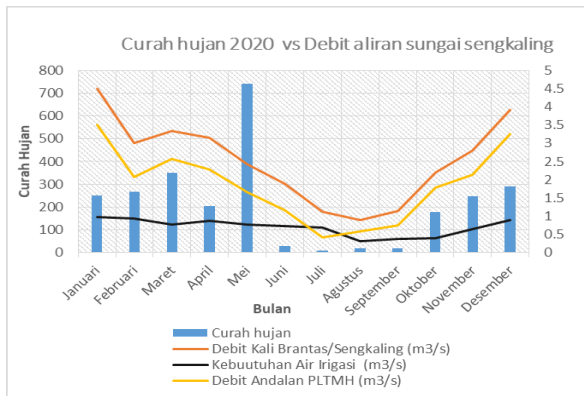
3. Hasil dan Pembahasan

Data-data curah hujan dan hari hujan merupakan parameter terpenting dalam menentukan debit air sungai. Oleh karena itu data-data ini diambil dari stasiun terdekat dengan lokasi aliran sungai sengkaling-Malang. Data data diambil dalam kurun waktu 2016-2019 untuk memperoleh karakteristik curah hujan agar hasil estimasi lebih akurat. Data-data curah hujan dan hari hujan diperlihatkan dalam Gambar 5.

Gambar 5 yang memperlihatkan neraca air 2016–2019. Berdasarkan grafik neraca air terlihat bulan-bulan kering yang lama terjadi pada tahun 2017 dan 2018, sedangkan bulan-bulan kering yang pendek terjadi pada tahun 2016 dan 2019. Pada tahun 2019 terjadi perubahan curah hujan yang ekstrim dimana setiap bulan sepanjang tahun terjadi hujan, sehingga tidak terjadi bulan-bulan kering. Dalam grafik terlihat walaupun terjadi bulan-bulan kering yang lama, namun limpasan air sungai tetap mengalir karena air dalam tanah tetap mengalir walaupun debitnya menurun secara signifikan, oleh karena itu didalam perancangan PLTMH perlu dihitung debit andalan yang dapat menjamin PLTMH tetap beroperasi walaupun pada bulan-bulan kering sekalipun. Gambar 6 menunjukkan kondisi debit air pada musim kemarau.



Gambar 5. Grafik curah hujan tahunan 2016-2019 [10]

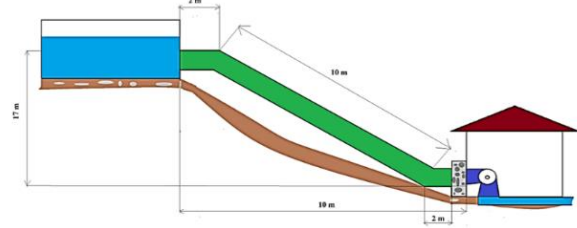


Gambar 6. Debit aliran sungai sengkaling

3.1 Perencanaan Jalur PLTMH

Melalui pengamatan terhadap letak geografis dan elevasinya, maka jalur PLTMH yang direncanakan melalui aliran sungai sengkaling-Malang. Jalur yang direncanakan terlihat dalam Gambar 1.6. Jalur PLTMH secara garis besar terdiri atas jalur antara intake weir

sampai ke penstock dan jalur antara penstock menuju power house dengan panjang 10 meter. Ketinggian forebay tank memiliki ketinggian 17 meter dari permukaan *forebay tank ke tailrace*.



Gambar 7. Ketinggian dan jarak bangunan PLTMH.

3.2 Desain Penstock

Data dan asumsi awal perhitungan pipa pesat, material pipa pesat menggunakan plat baja diroll dan dilas (welded rolled steel). Hal ini dipilih sebagai alternatif terbaik untuk mendapatkan biaya terkecil. Material yang digunakan adalah mild steel (St 37) dengan kekuatan cukup. Head losses pada sistem pemipaan (penstock) diasumsikan sekitar 4% terhadap *head gross*.

- Diameter pipa pesat

$$D = 2.68 \left(\frac{n^2 \cdot Q^2 \cdot L}{H} \right)^{0.1875} =$$

$$D = 2.68 \left(\frac{0.012^2 \cdot 1.2^2 \cdot 14}{17} \right)^{0.1875} = 0,52 \text{ m}$$

3.3 Perhitungan Head losses

- Head losses mayor yang terjadi akibat gesekan aliran dalam satuan pipa.

$$h_f = f \frac{L \cdot V^2}{d \cdot 2g} = h_f = 0.0262 \frac{14 \cdot 1.2^2}{0.77 \cdot 2 \cdot 9.81} = 0.034 \text{ m}$$
- Minor losses yang terjadi akibat adanya perlengkapan (equipment) pipa seperti belokan (elbow), valve, saringan dan peralatan lainnya.

$$h_m = \sum nk \frac{V^2}{2g} = h_m = 1.3 \frac{1.2^2}{2 \cdot 9.81} = 0.095 \text{ m}$$

$$h_m = \sum nk \frac{V^2}{2g} = h_m = 1.3 \frac{1.2^2}{2 \cdot 9.81} = 0.095 \text{ m}$$

3.4 Perhitungan Daya

- Daya turbin (P)

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_T$$

$$P = 1.2 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 17 \cdot 0.75 = 150093 \text{ Watt} = 150.093 \text{ kW}$$
- Daya yang dibangkitkan generator

$$P_g = \rho \cdot 9.81 \cdot Q \cdot H \cdot n_t \cdot n_{belt} \cdot n_{gen}$$

$$P_g = 1000 \cdot 9.81 \cdot 1.2 \cdot 17 \cdot 0.75 \cdot 0.98 \cdot 0.70 = 102963.798 \text{ W}$$
- Kecepatan Spesifik (n_s)

Kecepatan spesifik turbin (n) didefinisikan sebagai suatu kecepatan putar turbin dimana dapat dihasilkan 1 hp untuk setiap 1 m tinggi air jatuh (head). Kecepatan spesifik dinyatakan dengan persamaan :

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{5}{4}}} = n_s = 471 \frac{\sqrt{1.2}}{17^{\frac{5}{4}}} = 61.33 \text{ rpm}$$

3.5 Ukuran-ukuran utama runner.

- Kecepatan meridian (Cm)

$$c_{m1} = c_{m1}^* * \sqrt{2 * g * H} = c_{m1} = 0.22 * \sqrt{2 * 9.81 * 17} = 4.01 \frac{m}{s}$$

- Kecepatan Keliling / Spesifik Turbin Dapat dicari dengan persamaan :

$$u_1 = u_1^* * \sqrt{2 * g * H}$$

Dengan harga $nq = 61.33$ 1/menit, maka harga u_1^* dapat diketahui yang berdasarkan gambar grafik 11 diperoleh harga $u_1^* = 0.69$ sehingga keliling diperoleh sebesar:

$$u_1 = 0.69 * \sqrt{2 * 9.81 * 17} = 12.60 \frac{m}{s}$$

- Diameter luar runner (D₁)

$$D_1 = \frac{u_1 * 60}{\pi * n} = D_1 = (12.60 * 60) / (3.14 * 471)$$

$$D_1 = 0.51 \text{ m} = 510 \text{ mm}$$

- Diameter dalam runner (D₂)

$$D_2 = 0.66 * D_1$$

$$D_2 = 0.66 * 0.51 = 0.336 \text{ m} = 336 \text{ mm}$$

- Diameter rata-rata

$$D_r = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

$$D_r = \frac{510 + 336}{2} = 423 \text{ mm}$$

$$R_1 = \frac{D_1}{2} = \frac{510}{2} = 255 \text{ mm}$$

$$R_2 = \frac{D_2}{2} = \frac{336}{2} = 168 \text{ mm}$$

- Kelengkungan Sudu (rb)

Kelengkungan sudu dapat dicari dengan menggunakan rumus.

Besarnya kelengkungan sudu rb :

$$rb = 0.326 * R_1$$

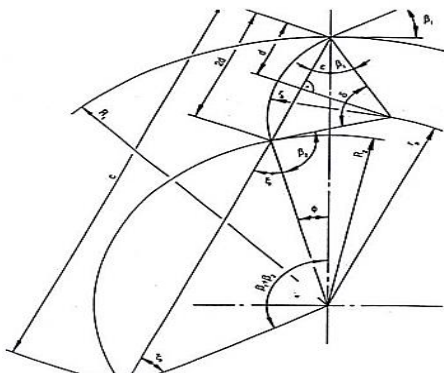
Dimana :

rb = kelengkungan sudu jalan

R₁ = jari-jari luar roda jalan

Jadi kelengkungan sudu :

$$rb = 0.326 * 255 = 83.13 \text{ mm.}$$



Gambar 8. Kelengkungan Sudu.

- Diameter pada arus keluaran I (D₂ = D_{2i}) Dengan persamaan :

$$D_{2i} = \frac{60 * u_{2i}}{\pi * n}$$

Dimana :

$$u_{2i} = u_{2i}^* * \sqrt{2 * g * H}$$

$u_{2i} =$ didapat dari gambar 1.3 dengan $n_s = 61.33$ rpm didapat 0.41

Maka:

$$u_{2i} = 0.41 * \sqrt{2 * 9.81 * 17} = 7.48 \frac{m}{s}$$

Sehingga :

$$D_{2i} = \frac{60 * 7.48}{3.14 * 471} = 0.30 \text{ m} = 300 \text{ mm}$$

- Diameter pada garis arus keluaran (D_{2a})

Dengan persamaan :

$$D_{2a} = \frac{60 * u_{2a}}{\pi * n}$$

Dimana :

$$u_{2a} = u_{2a}^* * \sqrt{2 * g * H}$$

$u_{2a}^* =$ didapat dari gambar grafik 1.3 dengan $n_s = 61.33$ rpm didapat 0.74

Maka:

$$u_{2a} = 0.74 * \sqrt{2 * 9.81 * 17} = 13.51 \frac{m}{s}$$

$$\text{Sehingga : } D_{2a} = \frac{60 * 13.51}{3.14 * 471} = 0.54 \text{ m} = 540 \text{ mm}$$

- Segitiga kecepatan masuk

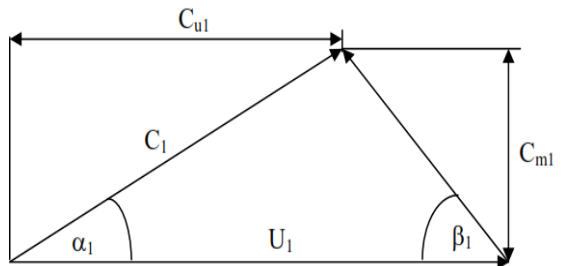
Untuk menggambarkan segitiga kecepatan masuk diperlukan perhitungan dari persamaan euler :

$$Cu_1 = \eta_T * g * \frac{H}{u_1}$$

Dimana : $\eta_T =$ efisien turbin = 0.75

Maka :

$$Cu_1 = 0.75 * 9.81 * \frac{17}{12.60} = 9.92 \frac{m}{s}$$



Gambar 9. Segitiga kecepatan masuk

- Segitiga Kecepatan Keluar

Untuk segitiga kecepatan keluar, di dapat dari :

$$u_{2 \text{ rata-rata}} = \frac{u_{21} + u_{2a}}{2}$$

maka :

$$u_{2 \text{ rata-rata}} = \frac{7.48 + 13.51}{2} = 10.49 \frac{m}{s}$$

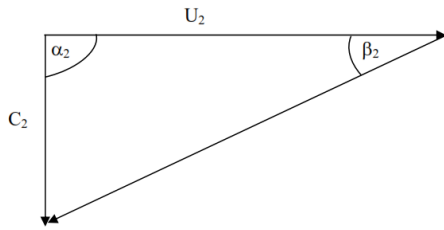
Sehingga kecepatan keluar sudu :

$$c_2 = c_2^* * V$$

Dimana c_2^* dapat dilihat dari gambar 1.3 pada putaran spesifik $n_s = 61.33$ rpm diperoleh harga $c_2^* = 0.28$

Maka:

$$c_2 = 0.28 * 18.26 = 5.11 \frac{m}{s}$$



Gambar 10. Segitiga Kecepatan Keluar

- Jarak Sudu Di Lingkaran Dalam s_2
Menganngap $\beta_2 = 90^\circ$ maka jarak sudu di lingkaran dalam runner, s_2 untuk setiap lebar lingkaran sudu atau lebar rim, dapat dicari menggunakan persamaan:

$$s_2 = t * \left(\frac{r_2}{r_1}\right) = s_2 = 83 * \left(\frac{168}{255}\right) = 54.7 \text{ mm}$$

- Geometri sudu

$$\begin{aligned} \text{Jarak (C)} &= \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 * R_1 * R_2 * \cos(\beta_1 + \beta_2)} \\ &= \sqrt{255^2 + 168^2 - 2 * 255 * 168 * \cos(30^\circ + 90^\circ)} = 369 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Sudut

$$\begin{aligned} \text{Sudut } (\epsilon) &= \arcsin \frac{R_2 * \sin(\beta_1 + \beta_2)}{c} \\ &= \arcsin \frac{168 * \sin(30^\circ + 90^\circ)}{369} = 23.20^\circ \end{aligned}$$

- Sudut (ξ)

$$\begin{aligned} \xi &= 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2 + \epsilon) \\ \xi &= 180^\circ - (30^\circ + 90^\circ + 23.20^\circ) = 36.8^\circ \end{aligned}$$

- Teta ϕ

$$\begin{aligned} \phi &= \beta_1 + \beta_2 - (180^\circ - 2\xi) \\ \phi &= 30^\circ + 90^\circ - (180^\circ - 2 * 36.8^\circ) = 13.6^\circ \end{aligned}$$

- Lebar setengah sudu (d)

$$\begin{aligned} d &= \frac{R_1 * \sin \phi}{2 \sin(180^\circ - \xi)} \\ &= \frac{255 * \sin 13.6^\circ}{2 * \sin(180^\circ - 36.8^\circ)} = 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Sudut lengkung sudu (δ)

$$\begin{aligned} \delta &= 180^\circ - 2(\beta_1 + \xi) \\ \delta &= 180^\circ - 2(30^\circ + 36.8^\circ) = 46.4^\circ \end{aligned}$$

- Jari-jari kelengkungan sudu (r_b)

$$r_b = 0.326 * R_1$$

Dimana :

r_b = kelengkungan sudu jalan

R_1 = jari-jari luar roda jalan

Jadi kelengkungan sudu :

$$R_b = 83.13 \text{ mm}$$

- Pusat jari-jari sudu (r_p)

$$\begin{aligned} r_p &= \sqrt{r_b^2 + R_1^2 - 2 * r_b * R_1 * \cos \beta_1} \\ &= \sqrt{83.13^2 + 255^2 - 2 * 83.13 * 255 * \cos 30^\circ} = 187.65 \text{ mm.} \end{aligned}$$

3.6 Daya air (Pair)

$$P_{air} = \rho * g * Q * h$$

$$P_{air} = 1000 * 9.81 * 1.2 * 17$$

$$P_{air} = 200124 \text{ W} = 200.124 \text{ kW}$$

3.7 Daya listrik yang dapat dibangkitkan

$$P_{listrik} = P_{air} * \eta_{total}$$

$$\eta_{total} = \eta_{turbin} * \eta_{generator} * \eta_{jaringan}$$

E turbin = 0.70 ~ 0.85 (tergantung pada tipe turbin)

E generator = 0.80 ~ 0.95 (tergantung pada kapasistas generator)

Ejaringan = 0.90 ~ 0.98 (tergantung pada panjang jaringan)

Efisiensi (η) yang digunakan diatas merupakan asumsi dimana asumsi diatas tidak melibatkan efisiensi dari konstruksi sipil, sistem kontrol dan trafo. Efisiensi total dari rumus diatas diambil nilai yang terendah karena dalam mendisain harus menggunakan nilai yang terendah sehingga efisiensi totalnya menjadi 0.504.

$$P_{listrik} = P_{air} * \eta_{total}$$

$$P_{listrik} = 200.124 * 0.504$$

$$P_{listrik} = 100.86 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan diatas dengan ketinggian 21 meter dan debit aliran sebesar 1,2 m³/s akan dapat menghasilkan daya listrik sebesar 100.86kW dan energi listrik ini akan dapat dihasilkan sepanjang tahun karena kami menggunakan debit aliran terendah.

3.8 Perkiraan Beban Listrik

Listrik yang diperuntukkan oleh konsumen dibuat 900 Watt per rumah

Daya pertahun = 200.124kW * 24 jam * 365 hari = 1753086.24kWh/tahun

Daya perumahan pertahun = 0,9kW * 24 jam * 365 hari = 7884 kWh/tahun

Berarti PLTA yang dikerjakan dapat digunakan adalah

$$= \frac{\text{daya per tahun}}{\text{daya per rumah}} = \frac{1753086.24}{7884} = 222.36$$

Sehingga dapat dipakai sekitar 200 rumah tinggal.

4. Kesimpulan

Sumber aliran sungai Sengkaling-Malang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH diperoleh tinggi jatuh air efektif 21 meter yang mampu menghasilkan potensi daya air 200.124 kW dan memproduksi daya listrik sebesar 100.86kW. Turbin air yang digunakan adalah jenis *Crossflow* dengan diameter runner luar 510 mm dan dalam 336 mm, jumlah sudu 16 buah, sudut serang 23.20° dan putaran poros turbin 471 rpm dengan kecepatan spesifik 61.33 rpm.

Daftar Rujukan

- [1] B. A. Nasir, "Design of High Efficiency Cross-Flow Turbine for Hydro-Power Plant," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 2, no. 3, 2013.
- [2] J. A. Razak, Y. Ali, M. A. Alghoul, M. Said Zainol, A. Zaharim, and K. Sopian, "Application of Crossflow Turbine in Off-Grid Pico Hydro Renewable Energy System," in *Proceeding of the American-Math*, 2010, pp. 519-526.
- [3] Renewable Energy For Indonesia (RE4I), "Renewable Energy: Keystone for Universal Electrification and Energy Security," 2017. <http://there4i.org/> (accessed Jul. 07, 2021).

- [4] Peraturan Pemerintah (PP), "Nomor 79 tentang Kebijakan Energi Nasional." 2014.
- [5] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2004.
- [6] C. Penche and D. I. de Minas, *Layman's Handbook on How to Develop A Small Hydro Site*, Second Edition. BMC Public Health, 1998.
- [7] P. T. D. Rompas, "Analisis pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) pada daerah aliran Sungai Ongkak Mongondow di Desa Muntoi Kabupaten Bolaang Mongondow," *Jurnal Penelitian Saintek*, vol. 16, no. 2, 2011.
- [8] C. Mockmore and F. Merryfield, "The Banki Water Turbine," *Oregon State College, Engineering Experiment Station*, vol. 25, 1949.
- [9] H. Yamamoto, "Cross-Flow Hydraulic Turbine and their Power Generating Systems," *Series.68*, 1983.
- [10] Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang, "Curah Hujan Tahunan," 2021. <https://malangkab.bps.go.id> (accessed Jul. 07, 2021).