

POTENSI TENAGA LISTRIK DAN PENGGUNAAN TURBIN ULIR UNTUK PEMBANGKIT SKALA KECIL DI SALURAN IRIGASI BANJARCAHYANA

ELECTRICITY POWER POTENCY AND SCREW TURBINE USE FOR SMALL SCALE POWER HOUSE IN BANJARCAHYANA IRRIGATION CHANNEL

Mohammad Anggara Setiarso¹, Wahyu Widiyanto^{*2}, Sanidhya Nika Purnomo²

*Email: wahyu.widiyanto@unsoed.ac.id

¹ P.T. Total Bangun Persada, Jakarta

² Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

Abstrak— Potensi tenaga listrik mikrohidro terdapat di sungai dan di saluran irigasi. Pada saluran irigasi tidak dijumpai beda elevasi yang besar sehingga pembangkit listrik mikrohidro lebih mengandalkan debit aliran daripada beda elevasi untuk membangkitkan daya listrik. Studi ini bertujuan mencari potensi tenaga listrik dan menampilkan alternatif rancangan untuk pembangkit listrik skala kecil pada Saluran Irigasi Primer Banjarcarya, Jawa Tengah. Potensi aliran saluran irigasi dihitung dari data saluran, selanjutnya dilakukan survei lokasi untuk rumah pembangkit dan dirancang bangunan utama dan bangunan pelengkap. Turbin ulir dipilih karena kesesuaiannya untuk pembangkit di saluran dengan tinggi tenaga kecil. Survei lapangan menghasilkan titik potensial untuk rumah pembangkit adalah pada bangunan terjun berkode B.BC 14, yaitu bangunan (B) nomor 14 yang terletak di saluran induk Banjarcarya (BC), sesuai tata nama pada jaringan irigasi tersebut. Pada lokasi terpilih tersebut, hasil analisis menunjukkan bahwa debit andalan untuk pembangkit adalah 5,67 m³/d dan daya teoritis yang dapat dibangkitkan sebesar 153,12 kW. Dimensi bangunan juga diperoleh dari hasil hitungan yang meliputi bangunan *intake*, saluran pembawa, bak penenang, saluran pengarah, turbin dan saluran pembuang. Turbin memiliki ukuran casing 1,25 m, jari-jari luar 0,51 m, jari-jari dalam 0,347 m, jarak pitch 1,02 m, sudut dalam dan luar berturut turut adalah 64,91° dan 72,33°.

Kata kunci — pembangkit listrik, skala kecil, mikrohidro, saluran irigasi, turbin ulir.

Abstract - Irrigation channels do not exist high head so that microhydro electric in an irrigation channel depends on its flow rate than its head to generate electric power. This study to find electricity power potency and performs an alternative design for a small scale power house in main channel of irrigation which is calculated from channel data and carried out to define the potential site for power house and designed main and supporting structures. A screw turbine is selected because of the suitability for power generating in a low head channel. Based on field survey, a potential site for power house is defined at drop structure of B.BC 14, i.e structure number 14th lies in main canal of Banjarcarya (BC). This code is based on irrigation nomenclature system in Indonesia. Furthermore, results of analysis show that dependable flow rate for generator is 5.67 m³/s and power of 153.12 kW. Dimensions of structure are found from calculation which include intake structure, gates, head race, forebay, turbine and tailrace. Turbine has a casing dimension of 1.25 m, outer radius of 0.51 m, inner radius of 0.347 m, pitch distance of 1.02 m, inner and outer angles of 64.91° and 72.33° respectively.

Keywords— electricity generator, small scale, microhydro, irrigation channel, screw turbine.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik skala kecil adalah pembangkit dengan daya listrik yang dihasilkan relatif kecil. Umumnya suatu pembangkit dengan daya terpasang maksimum 1 MW dapat dikelompokkan sebagai pembangkit skala kecil [1]. Pembangkit skala kecil dewasa ini semakin berkembang dengan memanfaatkan energi terbarukan yang dapat

bersumber dari energi air, angin, matahari, sampah hasil buangan dari pertanian atau industri, sampah kota, sumber panas dari tumbuh-tumbuhan atau panas bumi. Pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air disebut pembangkit listrik tenaga mikrohidro atau disingkat PLTMH [2]. Tenaga penggerak turbin pada PLTMH berupa aliran air yang berasal dari saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan

(*head*) dan jumlah debit air. Beberapa keuntungan yang terdapat pada PLTMH di antaranya adalah biaya cukup murah, memiliki konstruksi yang sederhana, tidak menimbulkan pencemaran, dan dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi.

Berdasarkan data pengelolaan energi nasional 2005-2025 yang dikeluarkan oleh Kementerian ESDM pada tahun 2006, disebutkan bahwa cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2005 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 23 tahun, gas dalam kurun waktu 62 tahun dan batu bara pada kurun waktu 146 tahun. Dalam Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, pada tahun 2025 konsumsi minyak bumi diharapkan berada di bawah 20%, gas bumi menjadi di atas 30%, batubara menjadi di atas 33%, sedangkan energi baru dan terbarukan (termasuk di dalamnya tenaga air) menjadi di atas 17%. Sebelumnya Pemerintah juga telah menerbitkan Pedoman Pengusahaan Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil melalui Kepmen ESDM No. 1122K/30/MEM/2002 untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit listrik sampai dengan kapasitas 1 MW yang diusahakan oleh usaha kecil dan koperasi. Tercatat di luar Jawa dan Jawa Bali pada tahun 2004 telah terjadi krisis energi listrik. Krisis energi yang terjadi disebabkan ketidakseimbangan antara ketersediaan (*supply*) dan permintaan (*demand*). Dalam rangka diversifikasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan tersebut, pasokan tenaga listrik pada tahun 2020 menggunakan minimal 5% berasal dari energi terbarukan. Dalam hal ini, dimungkinkan pihak daerah membangun pembangkit tenaga listrik skala kecil. Salah satu pembangkit listrik skala kecil yang potensial adalah PLTMH.

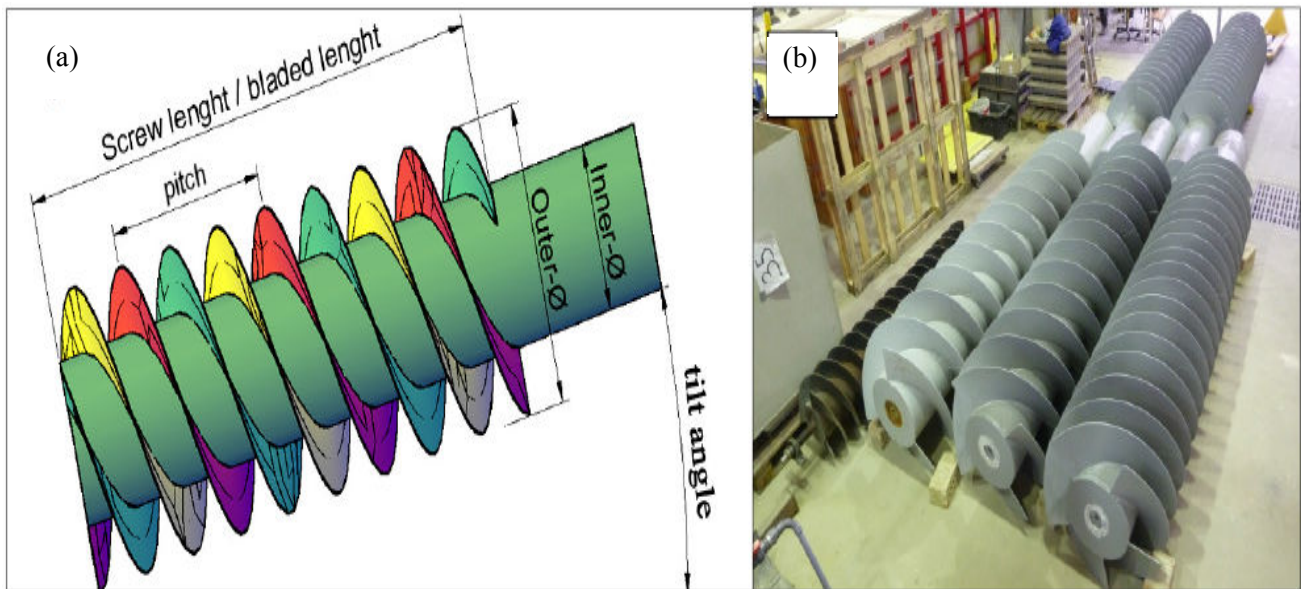
Pada umumnya, PLTMH dibuat dengan tidak membangun bendungan besar serta waduk yang luas. Sebuah contoh adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ketenger Baturraden yang terletak di lereng Gunung Slamet, Jawa Tengah. PLTA tersebut dibangun dengan layout yang biasa diterapkan pada PLTMH dengan melakukan optimasi operasi terhadap PLTA tersebut menggunakan program linear dengan batasan ketersediaan air [3]. Optimasi dipandang perlu terhadap PLTA tersebut mengingat turbin bekerja oleh aliran air dari sebuah kolam tando yang mengambil airnya dari sebuah sungai. Berbeda dengan sistem tersebut, studi ini membahas

pembangkit yang sumber airnya tidak berasal dari sungai yang ditampung dalam reservoir atau kolam tando.

Dewasa ini banyak dilakukan pencarian tempat-tempat yang memiliki aliran yang berpotensi membangkitkan energi. Studi ini menampilkan hasil survei dan alternatif perencanaan pada Saluran Irigasi Banjarcayana. Saluran ini mempunyai *intake* di Waduk Panglima Besar (PB) Soedirman yang berada di Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. Alternatif perencanaan pada studi ini dibatasi pada bangunan sipil yang diperlukan untuk sebuah PLTMH yang meliputi *layout*, *intake*, saluran pembawa, bak penenang, saluran pengarah, saluran pembuang dan turbin. Meskipun turbin termasuk dalam komponen mekanikal, dalam studi ini dilakukan hitungan turbin dengan asumsi-asumsi hidraulika dan tidak meninjau aspek permesinannya.

Dalam kaitan pemilihan turbin, dari berbagai jenis turbin yang tersedia, dalam studi ini akan dipilih turbin ulir. Turbin jenis ini dipilih karena secara teknis dapat bekerja efisien pada beda elevasi rendah bahkan beda elevasi nol [4]. Turbin ulir berasal dari konsep kuno oleh ahli matematika dan fisika Archimedes (287 – 212 SM). Selain dikenal dengan turbin ulir, sesuai dengan konseptor awalnya, turbin ini juga disebut sekrup Archimedes (*Archimedes screw*). Sekrup ini mula-mula ditujukan untuk menaikkan air untuk keperluan irigasi dan drainase [5]. Pada perkembangan selanjutnya, turbin jenis ini mulai digunakan untuk memutar turbin penghasil tenaga listrik. Turbin ulir berbeda dengan turbin tipe reaksi dan impuls, meskipun ada kesamaan yaitu bertujuan mengubah energi aliran menjadi energi gerak rotasi dan selanjutnya berubah menjadi energi listrik. Turbin ulir lebih cocok dipakai untuk tinggi tenaga (*head*) rendah atau beda elevasi antara hulu dan hilir aliran rendah bahkan nol [4].

Meskipun konsep turbin ulir telah ada sejak era Archimedes, landasan ilmiah untuk keperluan desain dan operasi baru dikembangkan akhir-akhir ini. Lashofer melakukan pekerjaan pengukuran efisiensi turbin ulir di lapangan, mengevaluasi konsep baru dari turbin ulir, dan melakukan uji laboratorium pengaruh bentuk turbin ulir [5]. Penggunaan turbin ulir di seluruh dunia telah tumbuh sebanyak 400 turbin sejak tahun 2000. Gambaran mengenai turbin ulir dapat dilihat pada Gambar-1.



Gambar-1 (a) Parameter bentuk turbin ulir, (b) eksperimen turbin skala besar dan kecil [5].

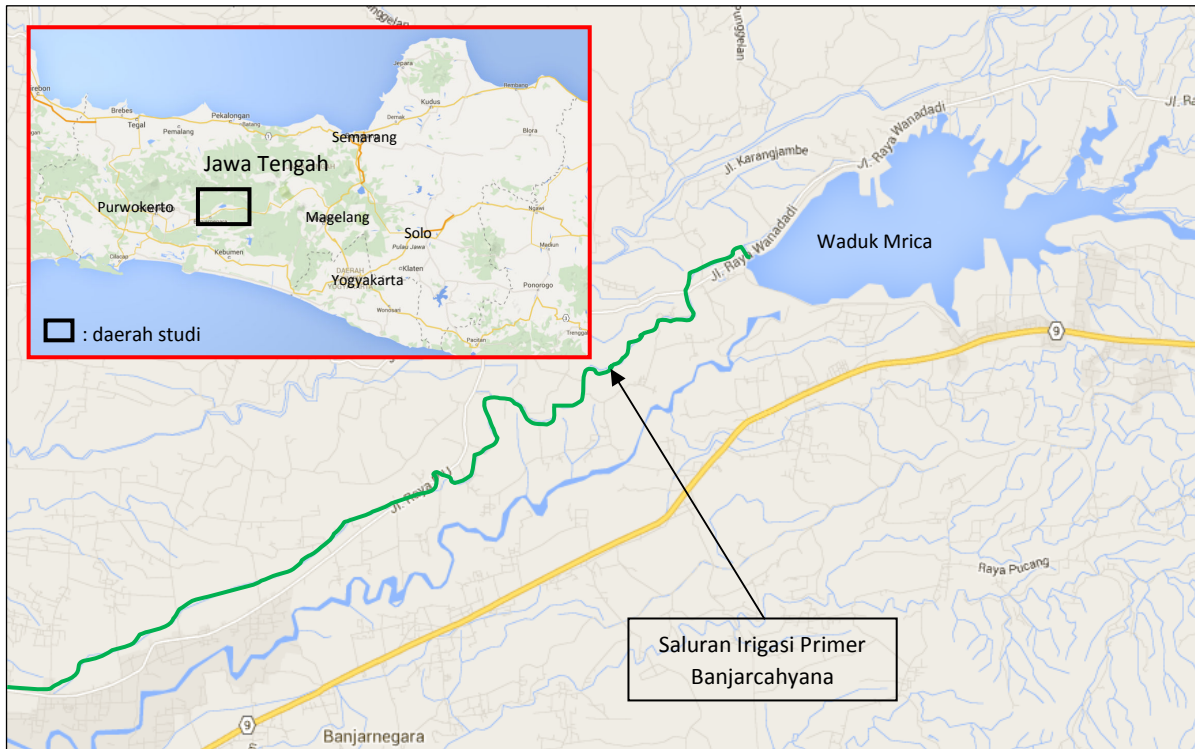
II. LOKASI STUDI

Studi ini mengambil lokasi di sebuah saluran irigasi primer yaitu Saluran Irigasi Banjarcayana. Saluran ini melintasi wilayah Kabupaten Banjarnegara dan Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah (Gambar-2). Sumber air irigasi berasal dari Waduk Panglima Besar Jenderal Soedirman, atau sebutan lainnya adalah Waduk Mrica, melalui *intake tapen* dengan jaminan air $11 \text{ m}^3/\text{d}$. Pada saluran irigasi tersebut terdapat relatif banyak bangunan terjun serta got miring dimana beberapa diantaranya telah dibangun pembangkit skala kecil. Saat ini telah dibangun dan dioperasikan 6 pembangkit skala kecil yaitu PLTMH Tapen, PLTMH Sigebang, PLTMH Siteki, PLTMH Plumbungan, PLTMH Kincang, dan PLTMH Rakit. Potensi untuk dibangun pembangkit listrik masih tersedia pada bangunan terjun atau got miring yang lain karena bangunan-bangunan tersebut memiliki debit yang konstan dan tinggi tenaga yang cukup. Bangunan terjun dan got miring dalam jaringan irigasi umumnya berfungsi untuk mengurangi kemiringan saluran agar mencapai kondisi dimana kecepatan aliran tidak lebih kecil dari kecepatan yang membuat sedimen mengendap dan tidak lebih besar dari kecepatan yang membuat dasar saluran tererosi [6]. Pada perkembangannya, bagian saluran irigasi dimana terdapat bangunan terjun atau got miring menjadi titik yang potensial untuk dibangun pembangkit skala kecil karena terdapat *head* yang relatif lebih tinggi dari pada bagian saluran irigasi yang lain.

III. METODE

Studi ini dimulai dengan survei potensi aliran saluran irigasi, selanjutnya direncanakan bangunan-bangunan yang sesuai. Penekanan diberikan pada perencanaan turbin ulir yang masih relatif sedikit penerapannya di dunia. Adapun langkah-langkah yang lebih rinci pada studi ini meliputi: (1) studi potensi dan penentuan lokasi PLTMH, (2) perhitungan debit andalan, (3) pembuatan *layout* awal PLTMH, (4) perencanaan jenis *intake* dan dimensinya, (5) perencanaan dimensi saluran pembawa, (6) perencanaan bak penenang (*forebay*), (7) perencanaan *casing* turbin ulir.

Penentuan potensi terhadap lokasi-lokasi yang ditinjau dilakukan dengan penilaian untuk mendapatkan satu lokasi yang akan direncanakan untuk PLTMH. Penetapan ini berdasarkan pendekatan pemberian nilai kuantifikasi yang dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: (a) mengidentifikasi data dan informasi kriteria-kriteria setiap lokasi potensi, (b) menetapkan skala pendekatan penilaian kuantifikasi setiap kriteria untuk setiap lokasi potensi, misalnya dengan skala angka 1-10, (c) setiap penilaian kuantifikasi yang tertinggi, terbaik atau paling baik diberikan nilai 10 dan terendah, terjelek atau paling jelek diberikan nilai 1, (d) kemudian dengan perbandingan penilaian terhadap penilaian kuantifikasi dari terendah, terjelek (nilai 1) sampai tertinggi, terbaik (nilai 10) diberikan penilaian kuantifikasi setiap kriteria untuk setiap lokasi potensi, (e) menjumlahkan nilai total dari nilai kuantifikasi seluruh kriteria untuk setiap lokasi potensi.



Gambar-2. Lokasi studi dengan GoogleEarth© dan earthexplorer.usgs.gov.

. Daya listrik teoritis yang dibangkitkan oleh aliran air dihitung dengan rumus [7][8]:

$$P = \rho \times Q \times g \times H \text{ (watt)} \quad (1)$$

dengan : P = daya listrik (watt), ρ = rapat massa air (kg/m^3), Q = debit aliran (m^3/d), g = percepatan gravitasi (m/d^2), dan H = tinggi jatuh atau tinggi tenaga (m). Debit diperkirakan dengan Rumus Manning yang populer dalam saluran terbuka [9] sebagai berikut.

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{\frac{2}{3}} S_e^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Dengan A = luas tampang aliran, R_h = jari-jari hidraulik dan S_e = kemiringan garis energi yang dalam kasus aliran seragam sama dengan kemiringan dasar saluran. Penentuan kedalaman air pada saluran menuju rumah pembangkit dan juga saluran pembuang dapat dihitung menggunakan persamaan energi spesifik:

$$E = H_s + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (3)$$

Dengan E = energi spesifik, dan H_s = kedalaman air. Debit aliran akan menentukan ukuran bangunan sipil yang meliputi bangunan pengambilan, saluran

pembawa, bak penenang dan saluran pengarah. Selain itu debit juga berpengaruh terhadap ukuran turbin dimana dalam studi ini ditinjau jenis turbin ulir.

Untuk turbin ulir [10], mengusulkan jari-jari luar turbin dihitung melalui hubungan tak berdimensi:

$$v = \frac{v_T}{\pi R_o^2 \Lambda} = \text{volume ratio} \quad (4)$$

Dengan tambahan hubungan tak berdimensi lainnya yaitu:

$$\rho = \frac{R_i}{R_o} = \text{radius ratio} (0 \leq \rho \leq 1) \quad (5)$$

dan

$$\lambda = \frac{K\Lambda}{2\pi R_o} = \text{pitch ratio} (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (6)$$

Dengan V_T = volume air dalam satu putaran turbin, R_o = jari-jari luar turbin, Λ = pitch atau periode satu sudu (*blade*), dan R_i = jari-jari dalam turbin.

A. Potensi Tenaga Listrik

Studi mengenai potensi tenaga listrik dilakukan untuk mengetahui bangunan terjun yang berpotensi untuk dibangun PLTMH. Dengan menggunakan kriteria kelayakan potensi maka kita dapat menilai apakah lokasi tersebut layak untuk dibangun PLTMH [11]. Survei pendahuluan dilakukan dengan cara

menelusuri saluran irigasi untuk mengetahui lokasi-lokasi bangunan terjun yang memiliki potensi berdasarkan pada skema bangunan dan peta ikhtisar Daerah Irigasi Banjarcayana. Pada penelitian ini didapatkan empat lokasi bangunan terjun yang memiliki potensi untuk dibangun PLTMH, yaitu bangunan terjun B.BC 12 a, 13 a, 14 a, dan 14. Dari keempat lokasi bangunan terjun yang ada kemudian dipilih satu lokasi untuk dibangun PLTMH. Dengan menggunakan metode IMIDAP untuk pemilihan prioritas PLTMH maka akan diperoleh lokasi yang memiliki nilai prioritas terbesar [2].



Gambar-3. Jalan menuju lokasi

B. Bangunan Terjun B.BC 12a

Bangunan terjun B.BC 12a terletak di Desa Adipasir (Gambar-4a), tepatnya terletak di koordinat S $07^{\circ}47'48,4''$ dan E $109^{\circ}48'49,2''$. B.BC 12a memiliki tinggi jatuh 4,71 m, debit $5,13 \text{ m}^3/\text{d}$, dan potensi daya 156,44 kW. Akses menuju lokasi cukup bagus karena ada jalan eksisting Desa Adipasir yang sudah tersedia. Bangunan ini dilengkapi dengan jembatan yang cukup lebar sebagai akses yang biasa digunakan untuk mobilisasi penduduk sekitar (Gambar-3).



Gambar-4. (a) Bangunan Terjun B.BC 12a dan (b) Bangunan Terjun B.BC 13a

C. Bangunan Terjun B.BC 13a

Bangunan terjun B.BC 13a (Gambar-4b) terletak di Desa Rakit, berada dekat dengan PLTMH Rakit yang sudah beroperasi, tepatnya terletak di koordinat S $07^{\circ}43'48,4''$ dan E $109^{\circ}52'49,2''$. B.BC 13a memiliki tinggi jatuh 2,88 m, debit $4,74 \text{ m}^3/\text{d}$, dan potensi daya 88,33 kW. Akses menuju lokasi masih dapat dijangkau tapi kondisi jalan belum menggunakan perkerasan. Jarak dari jalan Desa Rakit yang telah menggunakan perkerasan menuju lokasi bangunan terjun adalah 84 m.

D. Bangunan Terjun B.BC 14a

Bangunan terjun B.BC 14a juga terletak di Desa Rakit, tepatnya terletak di koordinat S $07^{\circ}43'49,2''$ dan E $109^{\circ}52'50,7''$ (Gambar-5a). B.BC 14a memiliki tinggi jatuh 5,35 m, debit $4,61 \text{ m}^3/\text{d}$, dan potensi daya 159,62 kW. Akses menuju lokasi masih dapat dijangkau karena ada jalan eksisting yang sudah tersedia, tapi kondisi jalan masih belum menggunakan perkerasan. Jarak dari jalan raya menuju lokasi bangunan terjun adalah 57 m. menggunakan perkerasan. Jarak dari jalan raya menuju lokasi bangunan terjun adalah 57 m.

E. Bangunan Terjun B.BC 14

Bangunan terjunan B.BC 14 terletak di Desa Gelang (Gambar-5b), tepatnya terletak di koordinat S $07^{\circ}43'99,9''$ dan E $109^{\circ}51'63,3''$. B.BC 14 memiliki tinggi jatuh 5,37 m, debit $4,61 \text{ m}^3/\text{d}$, dan potensi daya 153,12 kW. Akses menuju lokasi masih dapat dijangkau karena ada jalan eksisting yang sudah tersedia, tapi kondisi permukaan jalan masih berupa tanah. Jarak dari jalan raya menuju lokasi bangunan terjun adalah 85 m.

Dari empat bangunan terjun yang telah ditinjau kemudian diberi penilaian untuk mendapatkan satu bangunan terjun yang akan direncanakan untuk PLTMH (Tabel-1). Berdasarkan penilaian kriteria untuk keempat bangunan terjun pada Tabel-1, maka bangunan terjun B.BC 14 memiliki jumlah nilai tertinggi yaitu 56. Selanjutnya bangunan terjun B.BC 14 akan dianalisis untuk perencanaan PLTMH.



Gambar - 5. (a) Bangunan Terjun B.BC 14a dan (b) Bangunan Terjun B.BC 14

Tabel - 1. Penilaian kriteria bangunan terjun

Nomenklatur	Daya	Akses Jalan	Lahan Dan Topografi	Kontinuitas Air	Transmisi ke Gardu Induk	Sosial dan Lingkungan	Jumlah
B.BC 12a	9	10	7	10	10	7	53
B.BC 13a	7	7	6	10	10	9	49
B.BC 14a	10	8	7	10	10	8	53
B.BC 14	8	9	10	10	10	9	56

Data debit yang digunakan adalah pencatatan debit harian dari UBP Mrica di PLTA Tapen dari tahun 2009 sampai tahun 2013. Kemudian data tersebut dikalikan dengan perbandingan luas area hilir dan luas area total sehingga mendapatkan debit di saluran B.BC 14. Dari data tersebut dapat diketahui karakteristik debit harian di saluran B.BC 14 sebagai berikut : $Q_{50} = 5,67 \text{ m}^3/\text{d}$, $Q_{85} = 5,15 \text{ m}^3/\text{d}$, $Q_{maksimal} = 5,67 \text{ m}^3/\text{d}$, dan $Q_{minimal} = 3,09 \text{ m}^3/\text{d}$. Debit yang digunakan dalam perencanaan PLTMH ini menggunakan Q_{50} atau $Q_{maksimal}$.

IV. PERENCANAAN

A. Pembuatan Layout Sistem PLTMH

Layout sebuah sistem PLTMH merupakan rencana dasar untuk pembangunan PLTMH. Pada layout dasar digambarkan rencana untuk mengalirkan air dari intake sampai ke saluran pembuangan akhir. Lokasi PLTMH direncanakan di sebelah kiri Saluran Irigasi B.BC 14. Lokasi intake direncanakan tegak lurus dengan saluran irigasi dan ditempatkan pada bagian saluran irigasi yang lurus. Air dari intake dibawa oleh saluran pembawa menuju bak penenang. Setelah air berada di dalam bak penenang kemudian

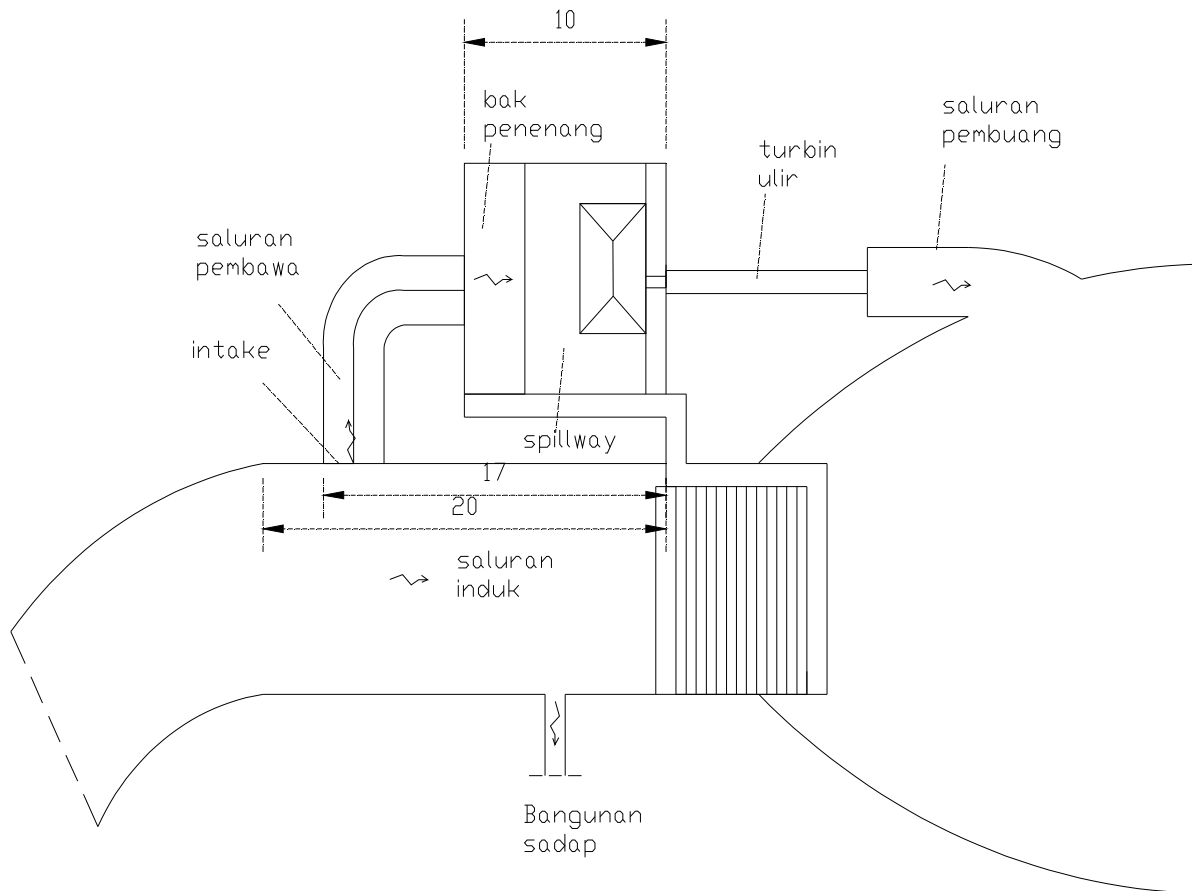
air dialirkan ke turbin ulir. Air yang telah melewati turbin kemudian dikembalikan ke saluran irigasi melalui saluran pembuang (Gambar-6).

B. Perencanaan Jenis dan Dimensi Intake

Pada bangunan intake PLTMH di B.BC 14 ini direncanakan untuk dapat mengambil dan mengalirkan air berdasarkan debit rata-rata Saluran Induk Banjarcayana yaitu sebesar $5,67 \text{ m}^3/\text{d}$. Bangunan intake menggunakan pintu sorong baja untuk mengatur debit yang akan masuk. Trashrack dipasang di intake yang berfungsi untuk menyaring sampah yang akan terbawa masuk.

Debit rata-rata irigasi B. BC 14 (Q_{50}) adalah $5,67 \text{ m}^3/\text{d}$ dan kedalaman air pada saluran irigasi (H_2) yaitu 1,18 m. Nilai koefisien debit yang dipakai (C_d) adalah 0,6 [12]. Kemudian bukaan intake direncanakan setinggi 1m dan lebar intake 3,5 m.

Dari perhitungan menggunakan persamaan lubang terendam [13] maka didapat tinggi muka air di saluran pembawa (H_s) yaitu 0,8 m. Dimana nilai H_s akan digunakan untuk merencanakan dimensi saluran pembawa. Lebar pintu intake dirasa cukup lebar, sehingga pintu sorong direncanakan berjumlah 2 buah dengan dimensi 1 m x 1,75 m.



Gambar-6. Alternatif layout pembangkit skala kecil di bangunan irigasi B.BC (gambar dibuat tak berskala).

C. Perencanaan Dimensi Saluran Pembawa

Saluran pembawa direncanakan berbentuk persegi dengan konstruksi pasangan batu kali yang diplester, dimaksudkan untuk mencapai koefisien kekasaran yang dapat mempercepat aliran. Kecepatan maksimal dan minimal yang diijinkan yaitu 3 m/d dan 0,3 m/d. Dan untuk debit 5,67 m³/d maka jari-jari tikungan yang diizinkan di saluran pembawa $\geq 3 H_s$ yaitu 2,42 m. Tinggi jagaan untuk debit 0,5-10 m³/d untuk saluran dengan pasangan batu adalah setinggi 0,3 m.

Debit yang harus dialirkan oleh saluran pembawa yaitu 5,67 m³/d dengan ketinggian air di saluran (H_s) yaitu 0,808 m. Lebar saluran yang direncanakan yaitu 3,7 m. Nilai kecepatan dari saluran pembawa yaitu 1,87 m/detik, nilai tersebut memenuhi standar kecepatan yang diberikan. Dari perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan Rumus Manning seperti ditunjukkan oleh Persamaan 2 [9] maka didapat kemiringan saluran sebesar 0,0047.

D. Perencanaan Dimensi Bak Penenang (Forebay)

Bak penenang direncanakan untuk membuat stabil aliran dan pengendapan sedimen sebelum masuk ke dalam turbin ulir. Sehingga dalam perencanaan ini nilai bilangan Froude harus kurang dari 0,55. Volume bak penenang dibuat 10-20 kali debit yang masuk, dan dalam perencanaan PLTMH di B.BC 14 akan menggunakan volume 20 kali dari debit. Bak penenang direncanakan berbentuk persegi dengan konstruksi batu kali yang diplester. Bak penenang memiliki pelimpah di sebelah kanannya yang digunakan untuk menjaga tinggi muka air ketika ada debit yang berlebih. Tinggi jagaan pada bak penenang yaitu 0,3 m. Bak penenang juga dilengkapi dengan pintu penguras. Volume bak penenang yaitu dua puluh kali debit, dengan persamaan $Volume = 20 \times Q$ dengan $Q = 5,67 \text{ m}^3/\text{d}$ sehingga volumenya 113,4 m³. Kecepatan vertikal (v) = 0,03 m/d, debit (Q) = 5,67 m³/d, dengan menggunakan persamaan $Q = v \times A$,

maka diperoleh luas atas bak penenang yaitu 189 m^2 , lebar bak (B) penenang diambil 10 m sehingga panjang bak penenang 18,9 m. Untuk menghitung ketinggian muka air (H_s) di bak penenang, dengan menggunakan persamaan $Vol = A \times H_s$, sehingga ketinggian muka air (H_s) yaitu 0,6 m. Kecepatan yang terjadi di bak penenang adalah 0,94 m/d sehingga dengan Rumus Manning diperoleh kemiringan bak penenang sebesar 0,0012. Pengecekan dengan menggunakan Persamaan 3, maka ketinggian muka air yang terjadi di bak penenang adalah 0,8 m.

E. Saluran Pengarah

Saluran pengarah fungsinya hampir sama dengan saluran pembawa yaitu berfungsi mengalirkan air. Air yang ada pada bak penenang dialirkan menuju turbin melalui saluran pengarah. Di atas saluran pengarah terdapat *power house*. Dengan menggunakan lebar yang sama seperti saluran pembawa yaitu 3,7 m. Dasar pada saluran pengarah dinaikkan sebesar 0,1 m dengan maksud agar sedimen dapat tertinggal pada bak penenang. Tinggi muka air pada saluran pengarah adalah 0,42 m.

F. Perencanaan Turbin Ulir (Parameter Luar dan Dalam)

Salah satu komponen yang penting dalam perencanaan PLTMH adalah turbin. Turbin ulir (*screw turbine*) adalah jenis turbin yang mampu beroperasi dengan *head* rendah yaitu kurang dari 10 m dan debit antara $0,1 \text{ m}^3/\text{d}$ sampai $10 \text{ m}^3/\text{d}$. Turbin ini baru mulai dikembangkan terutama di Eropa pada akhir tahun 2007. Dengan melihat kondisi bahwa beda tinggi bangunan terjun atau got miring di saluran Irigasi Banjarcayana kebanyakan berkisar di bawah 10 m dan debit $11 \text{ m}^3/\text{d}$ di daerah hulu, maka turbin ulir (*screw turbine*) dipandang cocok untuk pembangunan PLTMH ini. *Casing* turbin direncanakan dari baja dan sudut pemasangan turbin direncanakan 35° . Turbin menggunakan dua *blade* karena proses fabrikasi lebih mudah dan cepat. Kedalaman basah turbin direncanakan 0,4 dari diameter casing. Turbin ulir direncanakan dengan tinggi (H) dengan sudut instalasi 35° sehingga didapat panjang turbin (L). Selanjutnya adalah menghitung diameter casing turbin (D) yang juga dapat didekati dengan Rumus Manning dimana ketinggian muka air adalah $0,4D$ maka didapat diameter = 1,25 m.

Parameter internal turbin seperti jari-jari luar (R_o), jari-jari dalam (R_i), jarak pitch (A), sudut dalam (β), dan sudut luar (α) dihitung dengan peran Persamaan 2, Persamaan 3 dan Persamaan 4. Untuk menghitung

R_i dengan menggunakan rasio r turbin tanpa sudu : sudu (10 :8). Dari rasio tersebut didapat $R_i = 0,374 \text{ m}$ dan tinggi sudu 0,308 m sehingga R_o adalah 1,002 m, R_o merupakan penjumlahan R_i dengan tinggi sudu. Jarak pitch menggunakan $2 R_o$ dengan nilai efisiensi 66,16 %. Sudut ulir dalam (β) = $64,91^\circ$ dan sudut ulir luar (α) = $72,33^\circ$.

G. Perencanaan Dimensi Saluran Pembuang

Saluran pembuang direncanakan terbuat dari batu kali yang diplester dan berbentuk persegi. Saluran pembuang direncanakan mampu menampung debit yang mengalir melewati turbin sebesar $5,67 \text{ m}^3/\text{d}$. Kecepatan maksimal dan minimal yang diijinkan yaitu 3 m/d dan 0,3 m/d. Air yang dibawa oleh saluran pembuang dikembalikan lagi ke Saluran Induk Banjarcayana. Ketinggian muka air (H_s) yang direncanakan yaitu 0,65 m dan lebar saluran (L_s) yang direncanakan yaitu 3 m. Kecepatan aliran pada saluran pembuang yaitu 2,9 m/d, nilai tersebut masih memenuhi syarat. Dari perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan Rumus Manning maka didapat kemiringan saluran sebesar 0,015. Rekapitulasi hasil perencanaan disajikan dalam Tabel-2.

Tabel – 2. Rekapitulasi hasil perencanaan.

Komponen	Dimensi
Debit dan daya	
- Debit rencana	5,67 m^3/d
- Daya teoritis	153,12 kW
Saluran pembawa	
- Tinggi muka air saluran pembawa	0,8 m
- Pintu <i>intake</i>	2 buah, lebar 1 m dan tinggi 1,75 m
- Tinggi muka air saluran pembawa	0,8 m
- Lebar saluran pembawa	3,7 m
- Kemiringan saluran pembawa	0,0047
- Kecepatan aliran saluran pembawa	1,87 m/d (syarat 0,3 s.d. 3 m/d)
Bak penenang	
- Panjang bak penenang	18,9
- Lebar bak penenang	10 m
- Ketinggian muka air bak penenang	0,6 m
- Kecepatan aliran pada bak penenang	0,94 m/d
Saluran pengarah	
- Lebar saluran pengarah	3,7 m
- Tinggi muka air pada saluran pengarah	0,42 m
Turbin ulir	
- Diameter turbin	1,25 m
- Jari-jari dalam	0,374 m
- Jari-jari luar	0,51 m
- Tinggi sudu	0,308 m
- Jarak pitch	1,02 m
- Sudut ulir dalam	$64,91^\circ$
- Sudut ulir luar	$72,33^\circ$
Saluran pembuang	
- Ketinggian muka air	0,65 m
- Lebar saluran	3 m
- Kecepatan aliran	2,9 m/d
- Kemiringan saluran	0,015

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi potensi pada Saluran Primer Irigasi Banjarcayana, maka dapat disimpulkan bahwa lokasi bangunan terjun yang memiliki potensi untuk dibangun PLTMH adalah bangunan terjun B.BC 12a, B.BC 13a, B.BC 14a dan B.BC 14. Daya yang dihasilkan oleh masing-masing bangunan terjun tersebut yaitu 156,44 kW (B.BC 12a), 88,33 kW (B.BC 13a), 159,62 kW (B.BC 14a), dan 153,12 kW (B.BC 14). Berdasarkan penilaian kriteria pada masing-masing bangunan terjun yang ditinjau, maka nilai terbesar diperoleh bangunan terjun B.BC 14 dengan nilai 56. Sehingga PLTMH paling potensial dibangun pada bangunan terjun B.BC 14. Pada PLTMH B.BC 14 bangunan *intake* direncanakan berada di bagian yang lurus. Bangunan *intake* menggunakan pintu sorong untuk mengatur debit yang akan masuk. Lokasi *intake* lebih baik direncanakan berada sejauh lebih dari 10 m sebelum aliran masuk turbin, hal ini memberikan kesempatan agar aliran menjadi stabil. Lebar dan kedalaman saluran pembawa adalah 3,7 m dan 0,8 m. Kecepatan aliran pada saluran pembawa tidak melebihi 3 m/d dan jari-jari tikungan harus lebih besar atau sama dengan 2,42 m. Lebar dan kedalaman saluran pengarah adalah 3,7 m dan 0,42 m. Sedangkan dimensi bak penenang adalah 18,9 m x 10 m x 0,8 m (panjang x lebar x kedalaman). Dimensi turbin memiliki *casing* turbin 1,25 m, jari-jari luar 0,51 m, jari-jari dalam 0,347 m, jarak *pitch* 1,02 m, sudut dalam dan luar berturut turut adalah 64,91° dan 72,33°. Terdapat *trashrack* yang berfungsi menyaring kotoran yang akan masuk sehingga tidak mengganggu kinerja turbin ulir.

Dalam studi ini belum ditinjau perbandingan antara hasil perencanaan di lokasi B.BC 14 dengan PLTMH yang telah dibangun terlebih dulu pada lokasi lain yang juga memanfaatkan aliran air irigasi Banjarcayana. Perbedaan tentu saja ada, misalnya dibandingkan dengan PLTMH Siteki yang memiliki tinggi tenaga 18 meter dan jenis turbin yang berbeda. Oleh karena itu, studi selanjutnya dapat mendiskusikan hal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kepmen ESDM No. 1122K / 30 / MEM/ 2002. *Pedoman Pengusahaan Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil*. Jakarta: Kementerian ESDM. 2002.
- [2] IMIDAP. *Pedoman Studi Potensi (Pra Studi Kelayakan)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. 2009.
- [3] Winasis, Prasetyo H, Setia GA. Optimasi Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Menggunakan Linear Programming dengan Batasan Ketersediaan Air. *Dinamika Rekayasa*. 2013; 9(2): 62- 67.
- [4] Mayrhofer B, Stergiopoulou A, Pelikan B, Kalkani E. Towards an Innovative Radial Flow Impulse Turbine and a New Horizontal Archimedean Hydropower Screw. *Journal of Energy and Power Sources*. 2014; 1(2): 72–78.
- [5] Lashofer A, Hawle W, Kampel I, Kaltenberger F, Pelikan B. *State of Technology and Design Guidelines for The Archimedes Screw Turbine*. Conference Hydro. Bilbao Spanyol. 2012.
- [6] Direktorat Jenderal Pengairan. Standar Perencanaan Irigasi KP-01. Jakarta. 1986.
- [7] Barrow HK. *Water Power Engineering*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company. 1943.
- [8] Patty OF. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga. 1995.
- [9] Penche C. *Layman's Handbook on How to Develop a Small Hydro Site*. Edisi Ke-2. Brusel: European Commission, Directorate General of Energy. 1998.
- [10] Rorres C. The Turn of The Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2000; 126 (January): 72–80.
- [11] Warsito S, Syukur A, Nugroho AA. *Studi Awal Perencanaan Sistem Mekanikal dan Kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Mini-hidro*. Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan. 2005; 24–25.
- [12] Brater EF, King HW, Lindell JE, Wei CY. *Handbook of Hydraulics*. Edisi Ke-7. Boston: McGraw-Hill Companies. 1996.
- [13] Sleight A. *An Introduction of Fluid Mechanics*. Leeds: University of Leeds. 2001.
- [14] JICA (Japan International Cooperation Agency) dan IBEKA (Institut Bisnis dan Ekonomi Kerakyatan). *Manual Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. Jakarta: IBEKA. 2008.

