

Kajian Potensi Peningkatan Daya Terpasang PLTA Sebagai Pemanfaatan Surplus Debit Air Unit PLTA Batang Agam

Elfin Kurniawan^{a,*}, Dzikri Firmansyah Hakam^{b,c}, Iswan Prahastono^b, Akiman Nainggolan^a

^aUPDL BOGOR, PUSDIKLAT, PT PLN (PERSERO)

Jl. Raya Puncak KM 72 Cibogo, Megamendung, Bogor, Indonesia

^bPLN PUSLITBANG, PT PLN (PERSERO)

Jl. Duren Tiga Raya No.102, Jakarta Selatan, Indonesia

^cSchool of Business and Management (SBM), Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa No. 10, Bandung, Indonesia

*E-mail: elfin.k@pln.co.id, elfinkurniawan@gmail.com

Abstract

Batang Agam hydro Power Plant is a run of river hydro Power Plant which operated in 1976 with initially 2 (two) generation units operation. In 1981, the Batang Agam hydro Power Plant experienced 1 (one) unit expansion, resulted in total capacity of 3 x 3,5 MW. Based on the analysis carried out by the author, we found that there are potential for additional generating power from the existing river flow. This analysis based on 3 (three) types of studies, namely the study of excess inlet water discharge (inflow) at the overflow point in the tando pond spillway, the study of excess inflow at the overflow point in the spillway sand pond, and the study of water savings from modification of the tando pond screen outlet. Moreover, this research conducts a study on the capacity of additional units and the capacity of the existing waterway to determine the durability of the infrastructure. Based on the study results, an inflow surplus of 2,58 m³/s was obtained with a potential additional unit capacity of 2 MW. After more than 40 years of operation, the main hydropower facilities experience several modifications in the intake and the tando pond. We identified the potential to increase the installed power capacity of the Batang Agam Hydroelectric Power Plant by utilizing the surplus water in the tando and sand pond. The utilization of this water surplus can convert hydro energy into electrical energy that produce an additional 1 x 2 MW generator unit. This research provides a beneficial to PLN in increasing power supply to the interconnection system without land acquisition by utilizing the existing waterway.

Keyword: inflow, unit capacity, hydro power plant, interconnection system

Abstrak

PLTA Batang Agam merupakan pembangkit tipe *run of river* yang pertama kali dioperasikan pada tahun 1976 dengan 2 (dua) unit pembangkit. Pada tahun 1981 PLTA Batang Agam mengalami ekspansi 1 (satu) unit, sehingga total kapasitas pada saat ini sebesar 3 x 3,5 MW. Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh penulis, ditemukan potensi tambahan daya pembangkit yang berasal dari debit air sungai eksisting. Analisis ini didasarkan pada 3 (tiga) jenis kajian yaitu kajian kelebihan debit air masuk (*inflow*) pada titik overflow di *spillway* kolam tando, kajian kelebihan debit air masuk (*inflow*) pada titik overflow di *spillway* kolam pasir, dan kajian penghematan air dari modifikasi *screen outlet* kolam tando. Setelah itu, peneliti melakukan studi kapasitas unit tambahan dan studi kemampuan *waterway* eksisting untuk menentukan kemampuan daya tahan infrastruktur eksisting. Berdasarkan hasil studi, diperoleh surplus debit air masuk (*inflow*) sebesar 2,58 m³/s dengan potensi tambahan kapasitas unit sebesar 2 MW. Setelah lebih dari 40 tahun beroperasi dan banyak dilakukan modifikasi pada fasilitas utama PLTA seperti *intake* dan kolam tando, diidentifikasi potensi penambahan kapasitas daya terpasang PLTA Batang Agam dengan memanfaatkan surplus air di kolam tando dan kolam pasir. Pemanfaatan surplus air ini dapat mengkonversi energi hidro menjadi energi listrik dengan menghasilkan tambahan satu unit mesin pembangkit sebesar 1 x 2 MW. Penelitian ini memberikan manfaat kepada PLN dalam meningkatkan suplai daya kepada sistem interkoneksi tanpa melakukan pembebasan lahan baru dengan memanfaatkan *waterway* eksisting yang tersedia.

Kata kunci: debit air masuk, kapasitas unit, PLTA, sistem interkoneksi

1. Pendahuluan

Pertumbuhan pesat populasi manusia dan pertumbuhan ekonomi terkait erat dengan peningkatan global permintaan energi [1]. Secara global, produksi listrik meningkat sebesar 72% antara tahun 1993-2010 dan diharapkan meningkat sebesar 56% pada tahun 2040 [2]. Secara total, potensi tenaga air bruto global adalah 52 PWh/ tahun yang tersebar lebih dari 11.8 juta lokasi berdasarkan referensi *Global multi-resolution terrain elevation data* tahun 2010 [2] dan dari *Global*

Runoff Data Center [3]. Jumlah potensi tenaga air bruto global ini diperkirakan memiliki nilai sepertiga dari kebutuhan energi global saat ini [4]. Pada saat ini, banyak lokasi dengan sumber energi air yang potensial tidak dapat dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dikarenakan alasan teknis maupun ekonomi. Walaupun begitu, terdapat potensi yang cerah terkait pemanfaatan tenaga air dalam bauran energi di masa depan [4]. Berdasarkan fakta tersebut maka PLN sebagai perusahaan produsen listrik harus melakukan terobosan untuk memenuhi proyeksi pertumbuhan kebutuhan energi listrik dengan mengadakan pembangkit listrik yang murah dan efisien. Salah satu alternatif teknologi tersebut adalah menghasilkan listrik sedekat mungkin dengan lokasi beban, menggunakan sumber energi terbarukan, yang tidak menyebabkan pencemaran lingkungan, seperti PLTA [5]. Secara khusus, keunggulan yang dimiliki pembangkit listrik tenaga air dibandingkan dengan pembangkit listrik energy terbarukan lainnya seperti: tenaga angin, gelombang dan matahari adalah sebagai berikut [5]:

- Efisiensi tinggi (70-90%), sejauh ini yang terbaik dari semua teknologi energi.
- Faktor kapasitas tinggi (> 50%) dibandingkan dengan 10% untuk tenaga surya dan 30% untuk pembangkit listrik tenaga angin.
- Tingkat perubahan yang lambat; daya keluaran berfluktuasi hanya secara bertahap dari hari ke hari bukan dari menit ke menit.
- Daya keluaran maksimum di musim hujan.

Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Tenaga air (*hydro power*) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai [6].

Potensi hidro untuk pembangkit listrik tenaga air dan mini / mikro hidro tersebar di seluruh Indonesia adalah sebesar 75.000 MW [7]. Namun, hanya sekitar 9% dari potensi tersebut yang dimanfaatkan dalam bentuk pembangkit listrik skala besar dan kecil. Penerapan pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Indonesia dimulai pada tahun 2005 sebesar 0,45 MW. Pembangunan pembangkit listrik tenaga air di Indonesia pada awalnya tidak mengalami peningkatan yang signifikan, dari 0,55 MW pada tahun 2006-2007, meningkat menjadi 0,69 MW pada tahun 2008-2010 [7]. Salah satu strategi pemerintah Indonesia untuk meningkatkan produksi energi terbarukan adalah dengan melakukan pembangunan PLTA dan mikrohidro sebesar 20 MW di wilayah Indonesia Timur, 21 MW di Jawa-Bali, 11 MW di Sumatera, dan 18 MW di Papua, Maluku, dan Nusa Tenggara. Namun, hingga agustus 2015 belum ada PLTA yang selesai dibangun. Beberapa contoh konstruksi PLTA di bagian Timur Indonesia yaitu PLTA Siteba 3 x 2.5 MW, PLTA Tombolo Pao 2 MW, PLTA Taludaa 3 MW, PLTA Segara 1 MW, dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Lokomboro 0,4 MW [7]. Pada sistem tenaga listrik Sumatera, terdapat potensi energi hidro yang dapat dibangkitkan sebesar 7.642,2 MW. Potensi energi hidro terbesar yang ada di pulau Sumatera berada di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam sebesar 2.939,8 MW. Namun, sampai dengan tahun 2012, kapasitas PLTA di Pulau Sumatera berkisar di nominal 1.000 MW. Sampai saat ini kapasitas PLTA di sistem Sumatera tidak mengalami peningkatan yang signifikan [6].

PLTA Batang Agam merupakan pembangkit tipe *run of river* yang dimiliki PLN, pertama kali dioperasikan pada tahun 1976 dengan 2 (dua) unit pembangkit. Pada tahun 1981 mengalami penambahan 1 (satu) unit lagi, sehingga total kapasitas meningkat menjadi 3 x 3.5 MW. Walaupun sudah dilakukan penambahan satu unit pembangkit, apabila dioperasikan 3 unit pada beban maksimum, maka terjadi defisit air di kolam tando PLTA Batang Agam. Defisit air ini terjadi walaupun debit sungai Batang Agam pada kondisi maksimal. Permasalahan defisit air pada kolam tando PLTA Batang Agam dapat diatasi dengan dilakukannya optimasi debit air masuk (*inflow*) PLTA Batang Agam yang dilakukan oleh PLN. Untuk itu diperlukan upaya pengoptimalan potensi debit air tersebut.

Optimasi debit air tersebut dilakukan dengan memodifikasi profil mulut terowongan dengan cara melakukan *chipping* sehingga terbentuk $\frac{1}{4}$ parabola dengan jari-jari 18 cm. Parabola ini dilapisi oleh plat *stainless steel* dengan tebal ukuran 2.2 m x 0.1 m x 0.5 m yang dipasang dengan menggunakan baut *fisher* dan injeksi beton. Injeksi beton digunakan untuk mengisi bagian yang telah dibentuk (*chipping*) sehingga menambah koefisien debit aliran. Oleh karena itu, terjadi peningkatan debit aliran air yang masuk ke terowongan sehingga kondisi air di kolam tando dan kolam pasir mengalami *surplus* pada saat beban maksimum maupun minimum. Optimasi lain yang sudah dilaksanakan untuk meningkatkan debit air adalah studi modifikasi saringan *outlet* kolam tando. Optimasi modifikasi saringan outlet ini meningkatkan efisiensi hidrolis air dimana terdapat peluang terkait pengurangan *head loss* aliran air pada saringan *outlet* kolam tando, sehingga diharapkan konsumsi air turbin menjadi lebih efisien.

Optimasi debit air yang dilakukan modifikasi pada profil mulut terowongan dan saringan *outlet* kolam tando di atas mengakibatkan terdapatnya surplus air di kolam tando PLTA Batang Agam. Surplus air di kolam tando menghasilkan potensi peningkatan daya terpasang PLTA Batang Agam. Peningkatan daya ini memanfaatkan surplus air di kolam tando dan kolam pasir untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Penambahan kapasitas dilakukan dengan penambahan satu unit mesin pembangkit tanpa melakukan pembebasan lahan baru dengan memanfaatkan *waterway* eksisting yang tersedia. Oleh karena itu, diperlukan studi yang komprehensif yang dapat menganalisis potensi tambahan daya PLTA Batang Agam dari surplus air kolam tando yang tersedia. Berdasarkan *literature review* yang dilakukan oleh penulis, terdapat studi-studi yang menganalisis kajian potensi daya PLTA seperti studi potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (Picohidro) pada aliran sungai Cipelang [8], studi potensi energi sungai Khayan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air di Kalimantan

Utara [9], dan studi potensi sungai Srinjing untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Brumbung di Kabupaten Kediri [10]. Namun, belum ada penelitian yang melakukan analisis potensi daya PLTA dengan menggunakan pendekatan empiris dan survei lapangan seperti yang dilakukan oleh penelitian ini. Selain itu, penelitian ini menggunakan studi kasus PLTA Batang Agam yang ada di sistem interkoneksi Sumatera Barat yang belum pernah dianalisis sebelumnya. Selanjutnya, studi ini memberikan kebaruan dalam literatur akademik terkait kajian penambahan kapasitas daya pembangkit dan kajian debit air.

Artikel ini terdiri dari 4 (empat) bab yaitu bab 1 pendahuluan yang berisi latar belakang penelitian, tujuan penelitian, dan struktur penelitian. Bab 2 menceritakan tentang metode penelitian dan sistem *waterway* PLTA Batang Agam. Bab 3 adalah hasil dan pembahasan penelitian yang menjelaskan terkait kajian kelebihan debit air, kajian penambahan kapasitas unit, dan kemampuan *waterway existing*. Bab 4 merupakan bab kesimpulan yang menjelaskan hasil dari penelitian secara komprehensif.

2. Metode Penelitian dan Sistem *Waterway* PLTA Batang Agam

2.1 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah survey sistem *waterway* PLTA Batang Agam. Selain itu, dilakukan studi empiris terkait kajian kelebihan debit air dalam rangka penambahan kapasitas unit PLTA. Data lapangan diambil melalui observasi langsung pada sistem *waterway* PLTA oleh tim penulis.

Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. *Head* adalah beda ketinggian antara muka air pada *reservoir* dengan muka air keluar dari kincir/turbin air. Total potensi daya yang tersedia dari suatu *reservoir* air dihasilkan dalam bentuk energi potensial. Secara umum, formula penentuan total potensi daya tenaga hidrolik ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini berdasarkan studi yang dilakukan di [11]–[14]:

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

dimana:

P adalah daya (*watt*); Q adalah kapasitas aliran (m^3/s); ρ adalah densitas air (kg/m^3); h adalah *head* (m); g adalah percepatan gravitasi (m/s^2); η adalah efisiensi.

Sedangkan untuk kapasitas aliran dapat di definisikan dengan persamaan berikut:

$$Q = A \cdot V \quad (2)$$

dimana:

Q adalah kapasitas aliran (m^3/s); A adalah Luas penampang (m^2); V adalah kecepatan fluida (m/s)

Perhitungan kemampuan *penstock*, pipa pesat, dan *inlet manifold* adalah berdasarkan studi [15], [16]. Formula untuk menentukan diameter minimum *penstock* yang diperlukan sesuai desain debit aliran dapat dihitung dengan formula:

$$D = 2.69 \left(\frac{n^2 Q^2 L}{H} \right)^{0.1875} \quad (3)$$

dimana:

n = koefisien kekasaran *steel liner (roughness)*, Q = debit desain (m^3/s), L = panjang *penstock* (m), H = tinggi jatuhnya air (*gross head*) (m)

Formula untuk mengetahui kecepatan aliran air dalam pipa pesat adalah:

$$V = 1.273 \left(\frac{Q}{d^2} \right) \quad (4)$$

dimana:

Q = debit desain (m^3/s), d = diameter *penstock existing* (m), dan V maksimal adalah kecepatan aliran air sesuai persyaratan sebesar 10 m/s

Formula untuk mengetahui kekuatan pipa pesat dapat dihitung melalui penentuan ketebalan minimum *liner* sebagai berikut:

$$c = \sqrt{\frac{10^{-3} K}{1 + \frac{KD}{Et}}} \quad (5)$$

dimana:

c = kecepatan gelombang (m/s), K = modulus bulk air 2.1×10^9 (N/m²), E = modulus elastisitas baja 210×10^9 (N/m²), D = diameter *penstock existing* (mm), t = tebal *steel liner* pipa (mm)

Perhitungan *inlet manifold* masing-masing segmen harus mempunyai distribusi tekanan dan kecepatan yang sama ($V_1=V_2=V_3=V_4$) sehingga diameter *manifold* yang diperlukan untuk masing-masing percabangan *inlet* adalah:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{V \times \frac{\pi}{4}}} \quad (6)$$

dimana:

D = diameter *inlet manifold* (m), Q = debit aliran air tiap percabangan (m^3/s), V = kecepatan aliran air tiap percabangan (m/s)

2.2 Sistem *Waterway* PLTA Batang Agam

Sistem *waterway* PLTA Batang Agam terdiri dari beberapa bagian utama, diantaranya *Intake Weir* yaitu bangunan pengambilan air yang berfungsi sebagai tempat pengambilan air masuk yang berasal dari sungai [17]. Bangunan

selanjutnya yaitu *Tunnel I* (terowongan I) dimana air mengalir dari *Intake Weir* menuju *sand trap* (kolam pasir) melalui terowongan I sepanjang 175,5 m dengan diameter 2,5 m. *Sand Trap* (kolam pasir) berfungsi sebagai penangkap pasir yang terbawa air sungai yang mempunyai luas 7.000 m² dengan volume 20.000 m³. Perhitungan debit *outflow* pelimpahan air dari kolam pasir dihitung menggunakan formula sebagai berikut [15]:

$$Q = CLH^{3/2} \quad (7)$$

dimana: Q adalah debit limpasan, C adalah koefisien *discharge*, L adalah lebar pintu, H adalah tinggi muka air.

Sistem *waterway* selanjutnya setelah *sand trap* adalah *Tunnel II* (terowongan II). Terowongan ini menghubungkan *sand trap* dengan kolam tando dan memiliki panjang 131 m dengan diameter 2,1 m. Bagian selanjutnya dari *Waterway* adalah *Daily Pondage* (kolam tando) yang berfungsi untuk menampung air dan mengendapkan lumpur pada air. Pada kolam tando terdapat tiga komponen antara lain *inlet*, *spillway*, dan *outlet*. Kolam tando PLTA Batang Agam memiliki spesifikasi luas sebesar 45.000 m², volume maksimum air sebesar 116.000 m³ pada elevasi 682,5 m dpl, elevasi muka air operasi adalah 675 m dpl s/d 682,5 m dpl.

Bagian bangunan *waterway* yang lainnya setelah kolam tando adalah *tunnel III* (terowongan III) yang berfungsi untuk menyalurkan air dari *outlet* kolam tando menuju *surge tank* (kolam peredam) dengan panjang 1.080 m dan diameter 2,2 m. *Surge tank* (kolam peredam) berfungsi untuk meredam pukulan air dan menghilangkan gelembung-gelembung udara yang terdapat pada aliran air sebelum masuk ke dalam pipa pesat [18]. *Surge tank* ini memiliki tinggi 28 m, diameter 8 m, dan elevasi dasar 681,1 m dpl. Bagian *waterway* setelah *tunnel III* adalah *Valve Chamber* (bangunan katup utama) yang berfungsi sebagai katup pengaman yang bekerja secara otomatis apabila terdapat udara yang masuk ke dalam *penstock* (pipa pesat). Bagian dari *waterway* yang terakhir yaitu *penstock* (pipa pesat) berfungsi untuk mengalirkan air dari saluran penghantar ke turbin yang mempunyai elevasi awal 670,3 m dpl dan elevasi akhir 581,3 m dpl serta panjang pipa 240 m.

3. Hasil Dan Pembahasan

Sesuai dengan penjabaran tujuan pada pendahuluan diatas yaitu memanfaatkan surplus air di kolam tando dan kolam pasir untuk dikonversikan menjadi energi listrik dengan menambah kapasitas terpasang PLTA Batang Agam dengan cara menambah satu unit mesin pembangkit haruslah melalui beberapa kajian detail untuk merealisasikannya. Beberapa hal yang perlu analisis (sesuai ruang lingkup) diantaranya adalah: Analisis ini didasarkan pada 3 (tiga) jenis kajian yaitu kajian kelebihan debit air masuk (*Inflow*) pada titik *overflow* di *spillway* kolam tando, kajian kelebihan debit air masuk (*Inflow*) pada titik *overflow* di *spillway* kolam pasir, dan kajian penghematan air dari modifikasi *screen outlet* kolam tando. Setelah itu, penelitian ini melakukan studi kapasitas unit tambahan dan studi kemampuan *waterway* eksisting untuk menentukan kemampuan daya tahan infrastruktur eksisting dan kajian tata letak unit mesin tambahan.

3.1 Kajian Kelebihan Debit Air Masuk (*Inflow*) Pada Titik *Overflow* di *Spillway* Kolam Tando (ΔQ_{1a} m³/det)

Seperti telah dijelaskan pada latar belakang bahwa telah terjadi pelimpahan (*overflow*) pada *Spillway* di kolam tando ketika *inflow* air besar seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pelimpahan air tersebut secara rata-rata mencapai elevasi 682,70 m dpl atau 20 cm dari dasar pintu pelimpah di kolam tando. Untuk beberapa kondisi pada saat-saat tertentu ketika debit air melimpah, nilai elevasi bisa di atas 682,7 m dpl. Pintu pelimpah (*spillway*) yang ada di PLTA Batang Agam terdiri dari 4 pintu dengan lebar masing-masing 2,7 meter.



Gambar 1. Gambar dokumentasi pelimpahan/surplus air pada *spillway* kolam tando (Sumber: PLN)

Berdasarkan data di atas maka debit *overflow* dapat dihitung menggunakan formula (7). Dari perhitungan formula tersebut, diperoleh hasil perhitungan debit air sesuai tabel 1 dibawah ini. Berdasarkan tabel 1, nilai debit air pada elevasi rata-rata 682,70 m dpl adalah sebesar 2,125 m³/s. H adalah ketinggian air di atas *spillway*, C adalah koefisien *discharge*, L adalah lebar *spillway*, dan Q adalah debit air berdasarkan hasil perhitungan.

Tabel 1. Tabel hasil perhitungan debit *overflow* pada *spillway* kolam tando

No	H (elevasi) (cm)	C	L (m)	Q (debit) (m ³ /detik)
1	15	2,2	2,7	1,380
2	16	2,2	2,7	1,521
3	17	2,2	2,7	1,665
4	18	2,2	2,7	1,814
5	19	2,2	2,7	1,968
6	20	2,2	2,7	2,125
7	21	2,2	2,7	2,287
8	22	2,2	2,7	2,452

3.2 Kajian Kelebihan Debit Air Masuk (*Inflow*) Pada Titik *Overflow* di *Spillway* Kolam Pasir (ΔQ_{1b} m³/det)

Pelimpahan air tidak hanya terjadi di kolam tando namun terjadi juga di kolam pasir. Pelimpahan debit air di kolam pasir secara rata-rata mencapai elevasi 2 cm dari bibir bangunan pelimpah. Untuk beberapa kondisi pada saat-saat tertentu ketika debit air melimpah, nilai elevasi di kolam pasir bisa mencapai elevasi lebih dari 2 cm. Seperti ditunjukkan oleh gambar 2, dapat kita lihat *overflow* yang terjadi di *spillway* kolam pasir. Gambar 2 juga menunjukkan pintu pelimpah (*spillway*) pada kolam pasir terdiri dari 2 (dua) pintu dengan lebar masing-masing 36 meter. Berdasarkan data *overflow* dan dimensi pintu pelimpah kolam pasir, debit *overflow* dapat dihitung menggunakan formula (7). Dari hasil perhitungan dapat kita simpulkan bahwa rata-rata debit air pada elevasi 2 cm adalah sebesar 0,448 m³/s seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel hasil perhitungan debit *overflow* pada *spillway* kolam pasir

No	H (elevasi) (cm)	C	L (m)	Q (debit) (m ³ /detik)
1	1	2,2	36	0,158
2	2	2,2	36	0,448
3	3	2,2	36	0,823
4	4	2,2	36	1,267
5	5	2,2	36	1,771

**Gambar 2.** Gambar dokumentasi pelimpahan/surplus air pada *spillway* Kolam pasir (Sumber: PLN)

3.3 Kajian Penghematan Air dari Modifikasi *Screen Outlet* Kolam Tando (ΔQ_2 m³/det)

Modifikasi yang dilakukan pada *screen outlet* kolam tando juga berpeluang meningkatkan penghematan air. Perhitungan penghematan air berdasarkan modifikasi ini dapat ditentukan berdasarkan formula [14] mengenai pengurangan *head loss* saringan sebagai berikut:

$$H_{sr} = K_1 K_2 \left(\frac{d}{a} \right) \frac{V_{sr}^2}{2g} \sin \alpha \quad (8)$$

dimana:

H_{sr} adalah *head loss* saringan, K_1 dan K_2 adalah koefisien kehilangan tinggi energi, V_{sr} adalah kecepatan aliran air.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, nilai *head loss* saringan sebelum dimodifikasi adalah sekitar 0,03 m dan *head loss* saringan sesudah dimodifikasi adalah sekitar 0,0002 m. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka penghematan air pada saringan dapat dihitung dengan membandingkan kedua kondisi berdasarkan formula:

$$\begin{aligned} \text{Daya sebelum} &= \text{Daya sesudah} \\ P1 &= P2 \\ \rho g Q1 H1 &= \rho g Q2 H2 \\ Q2 &= Q1 H1 / H2, \end{aligned}$$

dengan mensubstitusikan nilai Q1, H1, dan H2 maka diperoleh nilai Q2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Head sebelum (H1 = Hbruto - HL1)} &= 99,47 \text{ m} \\ \text{Head sesudah (H2 = H1 + (HL1 - HL2))} &= 99,4998 \text{ m} \\ \text{Head loss sebelum (HL1)} &= 0,03 \text{ m} \\ \text{Head loss sesudah (HL2)} &= 0,002 \text{ m} \\ \text{Q total sebelum (Q1)} &= 13,8 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Q total sesudah (Q2)} &= 13,795 \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta Q2 (Q1-Q2) &= - 0,004 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Maka diperoleh penghematan *head loss* saringan *outlet* kolam tando sebesar 0,004 m³/s.

3.4 Kajian Kapasitas Unit Tambahan

Perhitungan potensi penambahan kapasitas daya pembangkit menggunakan formula (1) tentang penentuan total potensi daya tenaga hidrolik sebagai berikut:

Untuk kelebihan debit air masuk (*inflow*)

$$Q = (\Delta Q1a + \Delta Q1b + \Delta Q2) = (2,125 + 0,448 + 0,004) \text{ m}^3/\text{det} = 2,577 \text{ m}^3/\text{det},$$

Potensi daya yang akan di dapat :

$$\begin{aligned} P &= Q \times \rho \times g \times h \times \eta \\ &= 2,577 \times 1.000 \times 10 \times 99,5 \times 0,9 \\ &= 2.070.608 \text{ watt} \\ &\approx 2 \text{ MW} \end{aligned}$$

Berdasarkan kajian kapasitas unit tambahan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa kelebihan debit air masuk (*inflow*) yang terjadi di PLTA Batang Agam dapat menghasilkan potensi daya tambahan sebesar 2 MW.

3.5 Kajian Kemampuan *Waterway* Eksisting

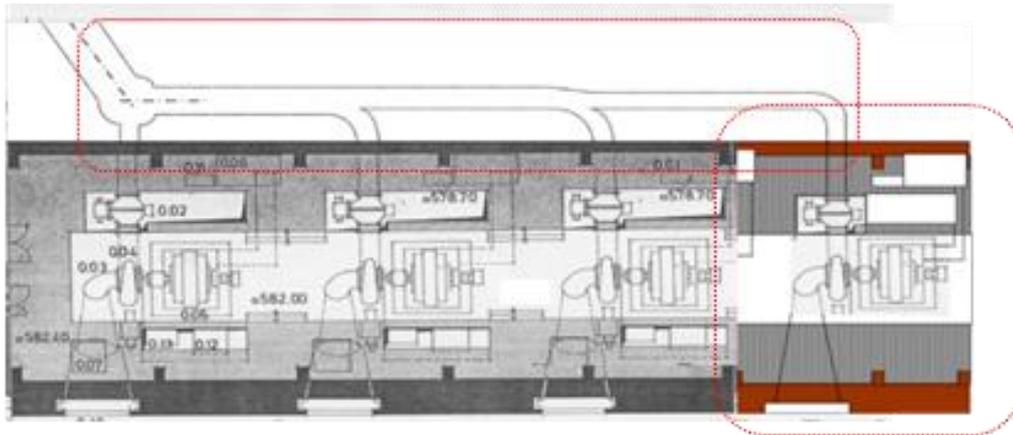
Setelah dilakukan 3 (tiga) jenis kajian kelebihan air di atas, kita melakukan perhitungan kemampuan *waterway* eksisting yang terdiri atas kajian diameter minimum pipa pesat, kecepatan aliran dalam pipa pesat, dan kekuatan pipa *penstock*. Berdasarkan kajian diameter minimum pipa pesat (*penstock*), tambahan kapasitas pembangkit sebesar 2 MW di atas tidak menyebabkan perubahan dimensi dari diameter. Berdasarkan formula (3) tentang perhitungan diameter minimum *penstock*, diperoleh perhitungan diameter minimum *penstock* sebesar 1,72 m. Nilai ini lebih kecil dari diameter eksisting *penstock* sebesar 2 m. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pipa pesat eksisting masih mampu untuk mengakomodir penambahan kapasitas pembangkit sebesar 2 MW.

Berdasarkan kajian kecepatan aliran dalam pipa pesat, kecepatan maksimum aliran air pada pipa pesat tidak boleh melebihi 10 m/s [11]–[14]. Dari hasil perhitungan berdasarkan formula (4) tentang kecepatan aliran di pipa pesat, diperoleh kecepatan aliran eksisting sebesar 4,39 m/s. Setelah dilakukan penambahan kapasitas daya, kecepatan aliran air di pipa pesat meningkat menjadi 5,21 m/s namun lebih kecil dari kecepatan maksimum yang diperbolehkan sebesar 10 m/s. Oleh karena itu dari segi kecepatan aliran, dapat disimpulkan bahwa pipa pesat eksisting masih mampu untuk mengakomodir penambahan kapasitas pembangkit.

Kekuatan pipa *penstock* dapat dihitung melalui perhitungan formula (5) tentang ketebalan minimum *liner* yang diperlukan. Dari hasil kajian diperoleh ketebalan dinding/*liner* minimum adalah 4,96 mm lebih kecil dari ketebalan *liner* eksisting sebesar 8 mm. Dari segi kekuatan pipa (tebal *liner*), pipa pesat eksisting masih mampu/memenuhi untuk penambahan kapasitas pembangkit sebesar 2 MW.

3.6 Kajian Tata Letak Unit Mesin Pembangkit Tambahan

Berdasarkan kajian tata letak unit pembangkit tambahan diambil kesimpulan bahwa terdapat keterbatasan ruangan *Power House* yang ada saat ini. Oleh karena itu diperlukan adanya perluasan ruangan untuk penempatan unit mesin pembangkit tambahan dengan ilustrasi seperti sketsa Gambar 3 dibawah ini. Gambar 3 adalah *layout* penambahan mesin pembangkit yang menunjukkan perlunya pembongkaran ruangan *workshop* untuk dijadikan lokasi pemasangan tambahan unit pembangkit di PLTA Batang Agam. Berdasarkan hasil survey lokasi yang dilakukan oleh penulis, luas ruangan *workshop* tersebut telah mencukupi kebutuhan luasan yang dibutuhkan untuk penempatan unit tambahan baru.



Gambar 3. Layout rencana pembangunan penambahan 1 unit mesin pembangkit tambahan (Sumber: PLN)

4. Kesimpulan

Dengan telah dilakukannya studi kapasitas unit tambahan dan studi kemampuan *waterway* eksisting pembangkit PLTA Batang Agam, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut: kelebihan debit air masuk (*inflow*) pada titik *overflow* di *spillway* kolam tando sebesar 2,125 m³/s; kelebihan debit air masuk (*inflow*) pada titik *overflow* di *spillway* kolam pasir sebesar 0,448 m³/s; penghematan air dari modifikasi *screen outlet* kolam tando sebesar 0,004 m³/s; kapasitas unit tambahan/ekspansi 1 unit pembangkit sebesar 2 MW. Berdasarkan hasil perhitungan, dapat kita simpulkan bahwa pipa pesat dan *penstock* eksisting masih mampu/memenuhi untuk mengakomodir penambahan kapasitas pembangkit sebesar 2 MW. Dengan demikian, studi ini memvalidasi kelayakan PLTA Batang Agam untuk dilakukan ekspansi 1 (satu) unit mesin dengan tambahan kapasitas 2 MW yang dapat digunakan sebagai tambahan suplai daya ke sistem interkoneksi Sumatera khususnya Sumatera bagian barat. Selain itu, penambahan kapasitas daya pembangkit ini dapat dilakukan tanpa melakukan pembebasan lahan baru dengan memanfaatkan *waterway* eksisting yang tersedia.

Daftar Pustaka

- [1] Berlekamp, J., Lumsdon, A.E., Tockner, K., Tydecks, L., Zarfl, C., 2014, "A Global Boom In Hydropower Dam Construction," *Aquat. Sci.*, 77(1): 161–170.
- [2] Danielson, D.B., dan Gesch, J.J., 2011, "Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010)," U.S. Geol. Surv. Open-File Report 2011-1073, 2010: 26.
- [3] Fekete, B.M., Grabs, W., Vörösmarty, C.J., 2002, "High-Resolution Fields of Global Runoff Combining Observed River Discharge and Simulated Water Balances," *Global Biogeochemical Cycles*, 16(3): 15-1–15-10.
- [4] Hoes, O.A.C., Meijer, L.J.J., Ent, R.J.V.D., Giesen, N.C.V.D., 2017, "Systematic High-Resolution Assessment of Global Hydropower Potential," *PLoS ONE*, 12(2).
- [5] Nasir B.A., 2014, "Design Considerations of Micro-Hydro-Electric Power Plant," *Energy Procedia*, 50: 19–29.
- [6] Arif, L., Fahrudin, T., Hakam, D.F., 2012, "Sustainable Energy Production In Sumatra Power System," *Int. Conf. Power Eng. Renew. Energy, ICPERE 2012*, (July 2012): 12–15.
- [7] Erinofardi *et al.*, 2017, "A Review On Micro Hydropower In Indonesia," *Energy Procedia*, 110: 316–321.
- [8] Jayakelana, F., 2020, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (Picohidro) Pada Aliran Sungai Cipelang Gede Kajian Gross Power," *SEMNAS TERAPAN (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan) Politeknik Sukabumi*, 2: 64–69.
- [9] Tamrin, 2017, "Kajian Potensi Energi Sungai Khayan Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Kalimantan Utara," *Seminar Nasional Teknologi 4 Samarinda*, 1(1): 46–52.
- [10] Indarto, A., Juwono, P.T., 2012, "Kajian Potensi Sungai Srinjing Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Brumbung Di Kabupaten Kediri," *J. Tek. Pengair.*, 3(2): 174–184.
- [11] Mansoor, S.P., Munoz-Hernandez, D.I.J.G.A., 2012, "Modelling and Controlling Hydropower Plants," *Spring Science & Business Media*.
- [12] Fuchs, E.F., Masoum, M.A.S., 2011, "Power Conversion of Renewable Energy Systems," *Power Conversion of Renewable Energy Systems*, *Spring Science & Business Media*.
- [13] Akers, R.S.A., Gassman, M., 2006, "Hydraulic Power System Analysis," *Taylor & Francis*.
- [14] Paish, O., 2002, "Small Hydro Power: Technology and Current Status," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 6(6): 537–556.
- [15] Penche, C., de M., D.I. (U. P. de Madrid), 1998, "Layman's handbook on how to develop a small hydro site."
- [16] Kumar, R., Singal, S.K., 2015, "Penstock Material Selection In Small Hydropower Plants Using MADM Methods," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 52: 240–255.
- [17] Hakim, M.I.A., Mohibullah, Radzi, M.A.M., 2004, "Basic Design Aspects of Micro Hydro Power Plant and Its Potential Development In Malaysia," *Natl. Power Energy Conf. PECon 2004 - Proc.*, 220–223.
- [18] Chen, J., Guo, W., Teng, T., Yang, J., Yang, W., 2015, "Regulation Quality For Frequency Response of Turbine Regulating System of Isolated Hydroelectric Power Plant With Surge Tank," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 73: 528–538.