



KAJIAN KELAYAKAN PEMANFAATAN SUPLAI AIR BAKU SISTEM TRANSMISI JALUR BREGAS II PDAB TIRTA UTAMA JATENG UNIT BREGAS SEBAGAI POTENSI ENERGI LISTRIK

Rizki Hamdisyar*), Arya Rezagama, ST, MT**), Ir. Mochtar Hadiwidodo, MSi**)

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

email : inboxhamdisyar@yahoo.co.id

Abstrak

Perusahaan Daerah Air Baku (PDAB) Tirta Utama Jateng Unit Bregas memiliki tiga jalur transmisi aktif sebagai suplai air baku untuk PDAM di tiga wilayah (Kabupaten Brebes, Kabupaten Tegal, dan Kota Tegal), salah satu dari ketiga jalur tersebut adalah Sistem Transmisi Jalur Bregas II dengan jarak $\pm 26,7$ km dan 16 bangunan Bak Pelepas Tekan (BPT). Sistem penyediaan air baku yang digunakan PDAB untuk Jalur Bregas II adalah sistem gravitasi dimana jalur tersebut memiliki elevasi yang sangat tinggi di hulu (+1880 m), sehingga diasumsikan tersedianya nilai sisa tekan (head effective) yang besar untuk dikonversikan menjadi energi/daya listrik. Untuk membuktikan asumsi tersebut, maka dilakukanlah studi melalui perhitungan manual maupun dengan software Watercad dalam analisis kondisi hidrolis perpipaan Sistem Transmisi Jalur Bregas II. Hasil dari studi yakni didapatnya nilai debit optimal 250 liter/detik yang juga menghasilkan nilai potensi energi tertinggi yaitu 249 kW pada ruas perpipaan BPT 2 – BPT 3, serta direkomendasikannya lokasi terbaik yang layak dipasang turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro/Minihidro dengan pertimbangan berbagai aspek yakni ruas perpipaan BPT 6 – BPT 7 dengan panjang ruas perpipaan ± 6080 m dan potensi energi 234 kW.

Kata Kunci: Sistem transmisi, Debit optimal, Sisa tekan, Potensi energi.

Abstract

[Feasibility Study of Water Supply Utilization in Bregas II Water Transmission System - PDAB Tirta Utama Jateng Bregas Unit as Electricity Potential]. Perusahaan Daerah Air Baku (PDAB) Tirta Utama Jateng Unit Bregas has three water supply transmission lines for three served regions (Brebes Regency, Tegal Regency, and Tegal City), one of lines is Bregas II Water Transmission System with $\pm 26,7$ km length and 16 Bak Pelepas Tekan (BPT) buildings. Kind of Water supply on Bregas II line is gravity system with high elevation at headwaters, so that there is the assumption of high head effective value which can be converted as electrical energy. To verified the assumption, so it is studied by manual calculation and Watercad program to analyse pipeworks of Bregas II Water Transmission System. Result of study are gotten optimum flow 250 liter/second which also generated best energy potential value 249 kW at BPT 2 – BPT 3 pipeline, and also there are best location of Bregas II Water Transmission System which suitable for turbine (Microhydro/Minihydro Power Plant) with reason of some aspects that is BPT 6 – BPT 7 pipeline with ± 6080 m length and energy potential 234 kW.

Keywords: Water transmission system, Optimum flow, Head effective, Energy potential.



PENDAHULUAN

Kondisi kelistrikan di Indonesia saat ini dihadapkan kepada berbagai permasalahan, mulai dari ketersediaan energi primer (sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui) yang mulai menipis hingga masalah ketersediaan pembangkit yang tidak seimbang dengan permintaan listrik, oleh karena itu diperlukan sumber energi alternatif untuk menjaga ketersediaan energi listrik.

Berdasarkan data yang dimiliki Kementerian ESDM tahun 2014, potensi sumber energi tenaga air tersebar sebanyak 15.600 MW (20,8%) di Sumatera, 4.200 MW (5,6%) di Jawa, Kalimantan sebesar 21.600 MW (28,8%), Sulawesi sebesar 10.200 MW (13,6%), Bali-NTT-NTB sebesar 620 MW (0,8%), Maluku sebesar 430 MW (0,6%) dan Papua menyimpan potensi tenaga air sebesar 22.350 MW atau 29,8% dari potensi nasional. Total keseluruhan potensi tenaga air yang dimiliki bangsa Indonesia sebesar 75.000 MW dan yang termanfaatkan saat ini hanya 10,1% atau sebesar 7.572 MW.

Salah satu studi aplikatif yang dapat dilakukan dalam mengembangkan hubungan ilmu hidraulika dengan energi alternatif adalah pemanfaatan sistem transmisi penyediaan air baku sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro/ minihidro. Dengan data debit dan ketinggian/ elevasi maka dapat dihasilkan nilai potensi energi di suatu jaringan perpipaan.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kondisi eksisting hidrolis dan hasil potensi energi di tiap ruas pipa, menganalisis pengaruh debit optimal terhadap kondisi hidrolis pipa dan potensi energi listrik yang dihasilkan, dan menganalisis penentuan alternatif pemilihan lokasi turbin pembangkit listrik pada Sistem Transmisi Jalur Bregas II PDAB Tirta Utama Jateng Unit Bregas.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam analisis hidrolis aliran pada saluran pipa untuk mengetahui kebutuhan tinggi tekan yang sesuai dengan karakteristik sistem pemasangan dan dimensi pipa dapat ditelusuri dengan pendekatan formulasi *Hazen-Williams* yang juga bisa dihitung sebagai *headloss major* sesuai persamaan berikut (Linsley dan Franzini, 1991).

$$hf = \frac{10,675 \times Q^{1,852}}{Ch^{1,85} \times D^{4,8704}} \times L$$

Di mana:

hf = kehilangan tenaga/energi (m)

Ch = koefisien gesekan *Hazen-Williams*

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

Q = Debit aliran (m³/s)

Selain kehilangan energi akibat gesekan, terjadi pula kehilangan energi akibat perubahan tampang saluran, sambungan-sambungan, belokan, *valve*, aksesoris yang lain. Kehilangan-kehilangan energi ini disebut sebagai kehilangan energi minor (Kodoatie, 2002).

- Kehilangan energi akibat penyempitan (*contraction*)

$$H_c = K_c (v^2/2g)$$

Di mana:

H_c = tinggi hilang akibat penyempitan

K_c = koefisien kehilangan energi akibat penyempitan

v² = kecepatan rerata aliran dengan diameter D₂ (yaitu di hilir dari penyempitan)

- Kehilangan energi akibat pembesaran tampang (*expansion*)

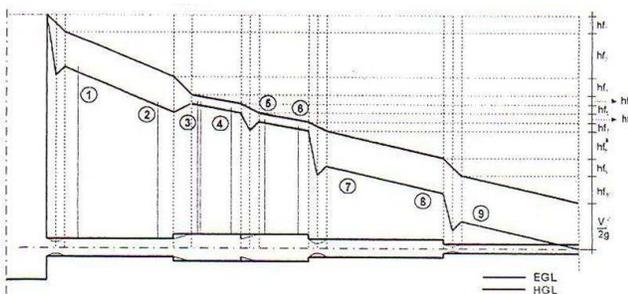
$$H_e = K_e (v_2^2/2g)$$

Di mana:

$$K_e = \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2$$

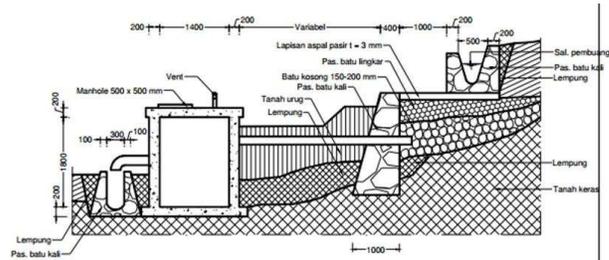
- Kehilangan energi akibat belokan
 $H_b = K_b (v^2/2g)$
 Di mana:
 K_b adalah koefisien tinggi hilang pada belokan pipa.

Sesuai prinsip *Bernoulli*, tinggi tenaga total di setiap titik pada saluran pipa adalah jumlah dari tinggi elevasi, tinggi tekanan, dan tinggi kecepatan. Garis yang menghubungkan titik tersebut dinamakan garis tenaga (*Energy Grade Line*). Perubahan diameter pipa dan tempat-tempat tertentu dimana kehilangan tenaga sekunder terjadi ditandai dengan penurunan garis tenaga. Garis tekanan (*Hydraulic Grade Line*) adalah penjumlahan dari tinggi tekanan dan elevasi diukur dari sumbu pipa. Garis tekanan terletak dibawah garis tenaga sebesar tinggi tekanan atau kecepatan dalam pipa. Garis tekanan ini menunjukkan besarnya tekanan zat cair dalam pipa di tiap titik sepanjang pipa. Jarak vertikal dari pipa ke garis tekanan adalah tinggi tekan. Besarnya tinggi tekan maksimum akan digunakan untuk merencanakan tebal pipa dan sambungan yang akan dipakai dalam suatu sistem. Bila garis tekanan berhimpit dengan garis pipa maka hal ini menunjukkan bahwa tekanannya merupakan tekanan atmosfer. Bila garis tekanan berada di bawah garis pipa, maka hal ini menunjukkan tekanan pipa tersebut bernilai negatif (Triadmodjo, 1993).



Gambar 1. Sketsa EGL dan HGL Pada Saluran Tertutup

Bangunan Penangkap Mata Air (*Broncapturing*) adalah bangunan untuk menangkap dan melindungi mata air terhadap pencemaran dan dapat juga dilengkapi dengan bak penampung (Dirjen Cipta Karya, 1996).



Gambar 2. Potongan Broncapturing

Jaringan Pipa Transmisi Air Baku adalah ruas pipa pembawa air dari sumber air sampai unit produksi. Terdapat beberapa kriteria pipa transmisi di dalam Pedoman Penyusunan Perencanaan Teknis Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, termasuk batas maksimal kekuatan pipa dalam menahan kecepatan aliran dan tekanan (PERMEN PU No.18, 2007).

Tabel 1. Kriteria Kecepatan Dan Tekanan Pipa Transmisi

No.	Uraian	Notasi	Kriteria
1.	Kecepatan Aliran Air Dalam Pipa a) kecepatan Minimum b)Kecepatan Maksimum - Pipa PVC - Pipa DCIP	V_{min}	0,3-0,6 m/det
		V_{max}	3,0-4,5 m/det
		V_{max}	6,0 m/det
2.	Tekanan Air Dalam Pipa a) Tekanan Minimum b) Tekanan Maksimum - Pipa PVC - Pipa DCIP - Pipa PE 100 - Pipa PE 80	H_{min}	1 atm
		H_{maks}	6-8 atm
			10 atm
			12,4 MPa
			9,0 MPa

Bak pelepas tekan (BPT) merupakan salah satu bangunan penunjang pada jaringan transmisi atau pipa distribusi. BPT berfungsi untuk menghilangkan tekanan lebih yang terdapat pada aliran pipa, yang dapat mengakibatkan pipa pecah. Ketentuan teknis BPT adalah sebagai berikut

(PERMEN PU No.18, 2007):

a. BPT ditempatkan pada:

- Titik-titik tertentu pada pipa transmisi, yang mempunyai beda tinggi antara 60 meter sampai 100 meter, terhadap titik awal transmisi.
- Beda tinggi yang dimaksud sangat tergantung pada jenis pipa. Biasanya untuk jenis PVC dan ACP beda tinggi maksimum untuk penempatan BPT adalah 70 meter. Untuk pipa jenis baja atau DCIP, beda tinggi maksimum untuk penempatan BPT adalah 100 meter. Untuk jenis pipa lainnya dapat mengikuti standar nasional maupun standar internasional yang berlaku.

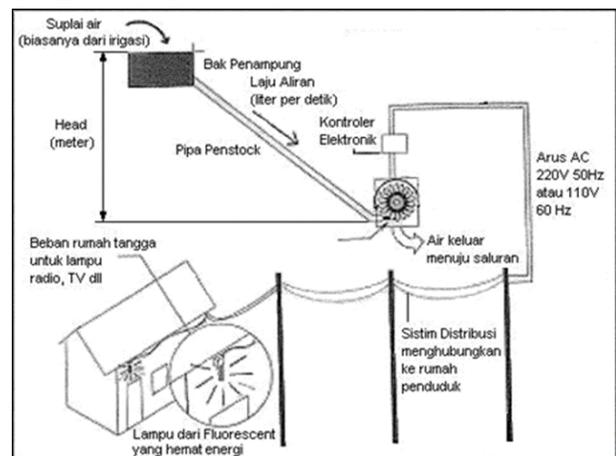
b. Waktu detensi (td) adalah (1-5) menit.

Pada sistem penyediaan air terdapat beberapa bentuk sumber air baku yang dapat dimanfaatkan antara lain air permukaan, air tanah dangkal, air tanah dalam, dan mata air. Dalam pengelolaan pemanfaatan sumber daya air perlu diperhatikan agar tidak terjadi dampak yang buruk di bagian hilir maka dilakukanlah suatu pelestarian atau konservasi mulai dari hulu atau sumber dan disepanjang saluran alami atau Daerah Aliran Sungai. Di samping itu juga perlu diperhatikan debit andalan sumber daya air yang tersedia agar suatu perencanaan pemanfaatan bisa dikelola dengan baik dan tidak merugikan lingkungan serta masyarakat.

Tenaga air atau *hydro power* adalah daya listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan aliran air. Energi potensial air dari bendungan atau air terjun diubah menjadi energi kinetik melalui turbin. Energi kinetik ini kemudian diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan generator. Tinggi jatuh air (*head*) sangat menentukan daya yang akan dihasilkan, karena semakin tinggi jatuh air, maka semakin tinggi energi potensial yang dimiliki oleh air tersebut (Penche dan

Minas, 1998).

PLTMH adalah pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air sebagai media utama untuk penggerak turbin dan generator. Tenaga mikro hidro dengan skala daya yang dapat dibangkitkan 5 kilo watt hingga 100 kilo watt, sedangkan Tenaga mini hidro dengan skala daya yang dapat dibangkitkan di atas 100 kilo watt di bawah 1 mega watt. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (*debit*) perdetik yang ada pada saluran air/air terjun. Yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan. Jangan sampai generator yang dipakai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada (Rayo, 2011).



Gambar 3. Skema Perjalanan Air pada PLTMH

Untuk dapat mengetahui daya potensial air dari suatu sumber adalah penting untuk mengetahui kapasitas aliran ($m^3/detik$) dan *head* (m) yang tersedia. Daya ini akan dirubah oleh turbin air menjadi daya mekanik. Daya teoritis yang keluar dari pembangkit listrik secara keseluruhan, yaitu (Dietzel, 1988):

$$P_{net} = \gamma \times Q \times H \times \eta$$

Di mana:

P_{net} = daya output pembangkit listrik (Watt)

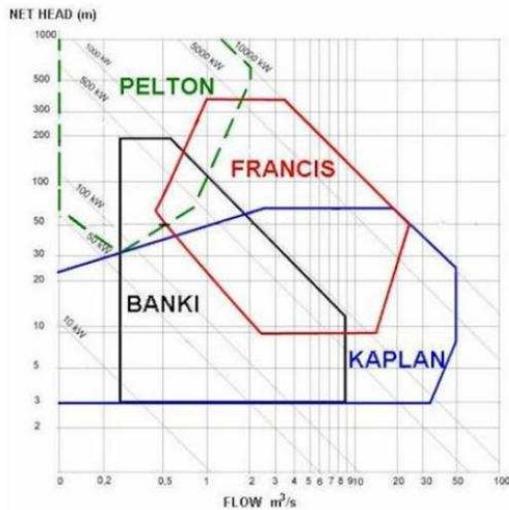
γ = berat jenis air (9800 N/m^3)

Q = debit aliran (m^3/detik)

H = tinggi jatuh air/*head* efektif (m)

η = efisiensi turbin

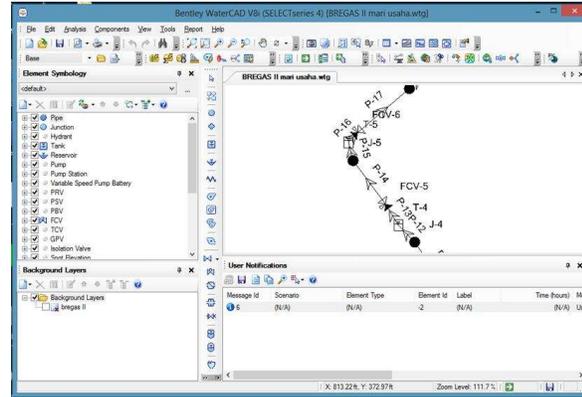
Dari rumus perhitungan daya di atas harus diketahui terlebih dahulu jenis turbin yang digunakan agar bisa ditentukan nilai efisiensi turbin. Berikut metode pemilihan turbin secara langsung melalui grafik empiris dari acuan *head netto* dan debit berdasarkan sumber referensi Layman's guidebooks (Penche & Minas, 1998):



Gambar 4. Grafik Pemilihan Turbin Berdasarkan Q Vs H

WaterCAD merupakan aplikasi dengan kemampuan jumlah pipa yang dapat dianalisa lebih dari 250 buah pipa. Program ini memiliki kemampuan interface yang mudah digunakan, dimana seluruh fasilitas sudah di sediakan berupa menu pilihan yang tinggal di aplikasikan sesuai jenis pekerjaan yang kita inginkan. Data input yang diperlukan adalah berupa data debit kebutuhan, data ketersediaan air baku, data distribusi air, peta dan teknis jaringan dimana nantinya akan diperoleh

hasil output yang memiliki sifat dan karakteristik yang meliputi debit air, kecepatan, tekanan dan kehilangan tekanan (Haestad, 2001; dalam Asmara, 2009).



Gambar 5. Tampilan Software WaterCad

METODOLOGI STUDI PERENCANAAN

Waktu studi di mulai dengan survey pendahuluan pada bulan Mei 2015 dan dilanjutkan dengan pengambilan data pada bulan Juni 2015 hingga Juli 2015.

Studi ini dilaksanakan di lokasi Jalur Bregas II Sistem Transmisi PDAB Tirta Utama JATENG Unit Bregas dengan titik objek pengamatan pada semua ruas perpipaan dan objek studi terpilih di salah satu ruas perpipaan antara beberapa Bak Pelepas Tekan untuk dilakukan *sampling* data debit eksisting dan penentuan alternatif lokasi.



Gambar 6. Peta Lokasi Penelitian

Beberapa data yang akan diambil langsung di lapangan adalah debit air baku dan *tracking* jalur sistem transmisi (elevasi dan koordinat). Untuk pengukuran debit air baku digunakan alat pengukur hidrolis digital yaitu *ultrasonic flow meter*. Sedangkan untuk *tracking* jalur transmisi digunakan alat GPS yang nantinya akan diinput ke perangkat lunak agar bisa divisualisasikan dalam bentuk gambar.



Gambar 7. Kesatuan Alat *Ultrasonic Flowmeter iSolv TUF 339*



Gambar 8. Pengoperasian *Ultrasonic Flow Meter*



Gambar 9. *GPS Tracker Portable Garmin 76CSx*

Secara singkat tahapan teknik analisis data meliputi :

- Mensimulasikan (memodelkan) jaringan Sistem Transmisi Jalur Bregas II PDAB Tirta Utama Jateng Unit Bregas dengan menggunakan *software Watercad* baik kondisi eksisting maupun dengan nilai debit yang akan direkayasa dengan tujuan mendapatkan debit optimal.
- Membuat tabulasi perhitungan manual analisis hidrolis dan perhitungan daya listrik yang dihasilkan dari rekayasa debit (debit optimal) Sistem Transmisi Jalur Bregas II PDAB Tirta Utama Jateng Unit Bregas sehingga didapat potensi energi listrik optimal, kemudian mengamati apakah terdapat perbedaan signifikan hasil analisis hidrolis antara perhitungan manual dan pemodelan *Watercad*.
- Menentukan prioritas lokasi terpilih

pada Jalur Bregas II PDAB Tirta Utama Jateng Unit Bregas. Lokasi terpilih difokuskan pada pemilihan ruas perpipaan antara dua bangunan BPT yang berpotensi sebagai lokasi salah satu unit PLTMH (turbin) ditinjau dari kondisi hidrolik dan aspek lainnya.



Gambar 11. *Broncapturing I*

GAMBARAN UMUM WILAYAH PERENCANAAN

Kesatuan unit Sistem Transmisi Jalur Bregas II terdiri dari 2 bangunan *broncapturing*, 1 bak pengumpul, 16 BPT, dan 1 Chamber. Dengan ukuran variatif 400 mm dan 500 mm, pipa Sistem Transmisi Jalur Bregas II berjenis *Steel* dan PE. Sistem penyaluran transmisi jalur Bregas II menggunakan sistem gravitasi dengan sumber air baku Mata Air Suci yang memiliki elevasi +1885 mdpl dan debit 1119 l/s.



Gambar 12. *Broncapturing II*

Pada komplek Mata Air Suci terdapat 2 *broncapturing* yang mengambil debit mata air sejumlah 250 l/s dari debit keseluruhan mata air hingga disalurkan pada 1 bak pengumpul. *Broncapturing I* memiliki dimensi 1030 cm x 1000 cm x 600 cm, sedangkan *Broncapturing II* dan Bak Pengumpul memiliki dimensi 1075 cm x 1000 cm x 550 cm. Di samping itu, pada komplek mata air juga terdapat saluran pelimpas debit berlebih dari mata air dengan pengukur debit *Weir Trapezoid (Cipoletti)*.



Gambar 13. Bak Pengumpul



Gambar 10. Mata Air Suci



Gambar 14. Saluran Pelimpas Debit Berlebih

Bak Pelepas Tekan (BPT) pada sistem transmisi jalur Bregas II memiliki kapasitas 30 m^3 dan ukuran $680 \text{ cm} \times 565 \text{ cm} \times 437 \text{ cm}$ dengan ruang pantau dan bak penampung di dalamnya. Kesatuan bangunan BPT terdiri dari beberapa komponen yaitu *air valve* dan pipa input, pipa vent dan pipa output, pipa *over flow* dan pipa *wash out*.



Gambar 15. Bak Pelepas Tekan

Pada akhir jalur Bregas II maka ditampung semua jumlah air yang disalurkan dari debit produksi ke sebuah bangunan yaitu Chamber Kalibakung dimana chamber ini juga akan menampung air baku dari jalur lain (Jalur Bregas I). Chamber Kalibakung memiliki kapasitas 200 m^3 dengan ukuran $1320 \text{ cm} \times 1080 \text{ cm} \times 492 \text{ cm}$ dan elevasi $+493 \text{ mdpl}$.



Gambar 16. Chamber Kalibakung

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Rencana Pengembangan dan Peluang Pemanfaatan Potensi Energi Pada Sistem Transmisi Jalur Bregas II PDAB Tirta Utama Jateng Unit Bregas

Sistem Transmisi Jalur Bregas II merupakan salah satu jaringan perpipaan yang dimiliki PDAB Tirta Utama Jateng Unit Bregas untuk menyediakan air baku kepada PDAM regional Bregas (Kabupaten Brebes, Kota Tegal, dan Kabupaten Tegal). Semua jalur yang dimiliki PDAB termasuk Jalur Bregas II menggunakan sistem gravitasi dalam penyaluran air dari mata air hingga ke reservoir. Total debit keseluruhan yang dibutuhkan PDAM regional Bregas adalah 650 liter/detik . Total debit tersebut sudah menjadi kontrak kesepakatan oleh pihak PDAM agar pihak PDAB menyediakan jumlah kebutuhan air sebanyak 650 liter/detik hingga tahun 2030 sesuai dengan RISPAM yang disusun pada tahun 2010.

Dilihat secara fungsional di sisi lain mengenai penyaluran air dengan sistem gravitasi, terdapat suatu potensi energi potensial yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan daya listrik. Nilai potensi energi sangat erat kaitannya dengan besarnya debit dan beda ketinggian antara dua titik, oleh karena itu Sistem Transmisi Jalur Bregas II yang memiliki nilai beda ketinggian yang besar di tiap ruas antar BPT sangat berpeluang untuk dimanfaatkan sebagai potensi energi disamping fungsi sistem transmisi sebagai penyalur air baku.

2. Pemodelan Hidrolik Kondisi Eksisting Sistem Transmisi Jalur Bregas II

Pada Sistem Transmisi Bregas II akan disimulasikan kondisi hidrolik pipa dengan memasukan olahan data primer



dan data sekunder. Bentuk data yang *diinput* pada pemodelan hidrolis kondisi eksisting adalah data primer debit hasil *sampling* menggunakan alat *Ultrasonic Flow Meter* (UFM) yaitu rata-rata debit 152,3 liter/detik (*output* data debit UFM lengkap dapat dilihat di lampiran) yang diambil secara sesaat (*grab sampling*), data primer elevasi tiap unit bangunan sistem transmisi (*brongcapturing*, bak pengumpul, BPT, dan *chamber*), data primer panjang tiap ruas perpipaan (jarak antar unit bangunan), dan data sekunder jenis serta diameter pipa transmisi

Hasil yang diamati dari pemodelan kondisi hidrolis eksisting pipa Sistem Transmisi Jalur Bregas II adalah kecepatan aliran dan *headloss* (kehilangan energi) pada pipa. Data kecepatan, dan *headloss* akan digunakan sebagai indikator kekuatan pipa dalam menahan kecepatan aliran yang bisa merusak kondisi pipa. Rentang aman nilai kecepatan aliran dalam pipa untuk penyediaan air bersih/minum yang digunakan adalah 0,3 – 4,5 m/s (patokan rentang kecepatan aliran pipa PVC/PE). Sedangkan untuk nilai *headloss*, akan diamati apabila *headloss* yang terjadi pada suatu ruas perpipaan melebihi nilai *head statis* maka bisa disimpulkan pengaliran yang terjadi tidak memiliki cukup energi untuk menyalurkan air hingga ke hilir pipa.

Tabel 2. Hasil Data Pemodelan Kondisi Hidrolis Eksisting Pipa Sistem Transmisi Jalur BREGAS II

Label	Velocity (m/s)	Headloss (m)
MA-BPT1	1.21	2.25
BPT1-BPT2	1.21	2.85
BPT2-BPT3	1.21	12.26
BPT3-BPT4	1.21	1.71
BPT4-BPT5	1.21	1.45
BPT5-BPT6	1.21	0.98
BPT6-BPT7	1.21	18.22
BPT7-BPT8	1.21	2.24
BPT8-BPT9	0.77	0.4

Label	Velocity (m/s)	Headloss (m)
BPT9-BPT10	0.77	1.02
BPT10-BPT11	1.21	6.2
BPT11-BPT12	1.21	4.75
BPT12-BPT13	1.21	1.71
BPT13-BPT14	1.21	3.69
BPT14-BPT15	1.21	5.93
BPT15-BPT16	1.21	2.1
BPT16-CH.	1.21	3.63

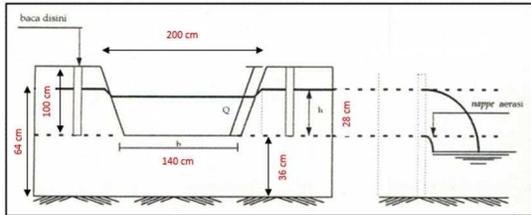
Pada hasil pemodelan didapat nilai kecepatan aliran yang masih berada di dalam rentang aman untuk kondisi pipa yaitu 1,21 m/s dan hanya pada ruas perpipaan dari BPT 8 hingga BPT 10 yang memiliki nilai 0,77 m/s, untuk nilai *headloss* tidak ada yang melebihi nilai *head statis* di tiap ruas perpipaan. Maka daripada itu dapat dibuktikan bahwa pipa sistem transmisi Jalur Bregas II dalam kondisi eksisting (waktu studi) mampu menahan kecepatan aliran yang terjadi dan memiliki cukup energi untuk mengalirkan air dari hulu ke hilir Jalur Bregas II sehingga juga dapat diketahui bahwa debit eksisting mempunyai peluang untuk dioptimalkan.

Di samping itu terdapat pula studi awal perhitungan potensi energi berdasarkan debit kondisi eksisting yang menghasilkan nilai daya listrik di setiap ruas perpipaan mayoritas tergolong kelas mikrohidro (5 kW – 100 kW), dimana kondisi tersebut kurang layak bagi pelayanan energi/listrik 11 desa yang dilewati perpipaan Jalur Bregas II walaupun kondisi tersebut masih layak untuk penyediaan air baku/bersih. Hal tersebut berdasarkan dengan kriteria layak dari pedoman teknis PLTMH oleh Departemen ESDM yaitu minimal kebutuhan daya listrik 120 kW untuk melayani suatu pemukiman/desa.

3. Pemodelan Hidrolik dengan Debit Optimal Sebagai Analisis Potensi Energi Pada Sistem Transmisi Jalur Bregas II

➤ Studi Pendahuluan

a. Pengukuran Debit Berlebih (Metode Cipoletti)



Gambar 17. Hasil Data Primer Peluap Cipoletti

Pada pengukuran peluap *cipoletti* didapat data tinggi muka air (H) 64 cm dari dasar penampang saluran, tinggi muka air 28 (h) cm dihitung dari dasar peluap, tinggi letak peluap dari dasar penampang saluran adalah 36 (H') cm, tinggi peluap (P) 100 cm, lebar peluap bagian bawah (b) 140 cm, dan lebar bagian atas (L) 200 cm. Setelah dilakukan perhitungan dengan rumus peluap *cipoletti* maka didapat nilai debit berlebih dari saluran pelimpas mata air suci adalah rata-rata 385 liter/detik dalam kondisi eksisting.

b. Data Pengukuran Sisa Kedalaman BPT

Tabel 3. Sisa Kedalaman Tiap BPT Sistem Transmisi Jalur BREGAS II

BPT 1	??
BPT 2	??
BPT 3	95 cm
BPT 4	97 cm
BPT 5	93 cm
BPT 6	over flow (full)*
BPT 7	98 cm
BPT 8	130 cm
BPT 9	94 cm
BPT 10	15 cm
BPT 11	82 cm
BPT 12	113 cm

BPT 13	103 cm
BPT 14	97 cm
BPT 15	111 cm
BPT 16	36 cm

Dapat dilihat dari hasil pengukuran, pada tiap BPT masih adanya sisa kedalaman yang artinya air yang mengalir pada Sistem Transmisi Jalur BREGAS II tidak mengalami kelebihan debit (*overflow*). Oleh karena itu pada Sistem Transmisi Jalur BREGAS II masih dimungkinkan untuk dilakukan pengoptimalan debit.

➤ Hasil Pemodelan Hidrolik Dengan Debit Optimal

Pada pemodelan hidrolik debit optimal, data yang *diinput* adalah semua olahan data primer dan data sekunder yang sama dengan pemodelan pada kondisi eksisting, hanya ada perbedaan data debit yang digunakan adalah data debit rencana produksi PDAB yaitu 250 liter/detik. Sebagai batasan dalam melakukan pemodelan hidrolik maka digunakanlah patokan pengamatan maksimal kecepatan 4,5 m/s, untuk menghindari keausan pada pipa PE maka dipatok angka aman kecepatan aliran pipa PE sekitaran nilai 3,0 m/s, walaupun di samping hal tersebut batas maksimal kecepatan aliran pada pipa jenis *steel* sebesar 5,0 m/s. Kemudian batasan lainnya adalah nilai *headloss* yang tidak melebihi nilai *head statis*, sehingga nantinya didapat nilai sisa tekan yang cukup besar dalam mempengaruhi nilai potensi daya listrik dari tiap ruas perpipaan. Selain itu pedoman angka debit optimal juga digunakan hasil debit berlebih/limpasan dari studi pendahuluan yaitu 385 liter/detik, dari nilai tersebut dapat disimpulkan dengan debit limpasan yang tersedia maka debit eksisting bisa dilakukan pengoptimalan hingga debit rencana maksimal produksi 250 liter/detik.

Tabel 4. Hasil Data Pemodelan Hidrolik Debit Optimal (250 liter/detik) Pipa Sistem Transmisi Jalur BREGAS II

Label	Velocity (m/s)	Headloss (m)
MA-BPT1	1.99	5.65
BPT1-BPT2	1.99	7.15
BPT2-BPT3	1.99	30.81
BPT3-BPT4	1.99	4.31
BPT4-BPT5	1.99	3.64
BPT5-BPT6	1.99	2.45
BPT6-BPT7	1.99	45.78
BPT7-BPT8	1.99	5.63
BPT8-BPT9	1.27	1.01
BPT9-BPT10	1.27	2.57
BPT10-BPT11	1.99	15.57
BPT11-BPT12	1.99	11.93
BPT12-BPT13	1.99	4.31
BPT13-BPT14	1.99	9.28
BPT14-BPT15	1.99	14.91
BPT15-BPT16	1.99	5.27
BPT16-CH.	1.99	9.12

Pada hasil data *headloss* kondisi pipa transmisi Jalur Bregas II masih tergolong aman karena semua nilai *headloss* tidak ada yang melebihi nilai *head statis* di tiap ruas perpipaan. Kemudian untuk nilai kecepatan aliran pada pipa transmisi Jalur Bregas II menunjukkan nilai maksimal 1,99 m/s dan nilai 1,27 m/s pada ruas perpipaan BPT 8 hingga BPT 10, hal ini juga membuktikan kecepatan aliran yang terjadi tidak akan merusak pipa karena belum mencapai nilai batas maksimal (4,5 m/s*patokan pipa PVC/PE, PERMEN PU No.18 Tahun 2007).

Tabel 5. Hasil Data Pemodelan Hidrolik Debit Optimal (250 liter/detik) FCV Sistem Transmisi Jalur BREGAS II

Label	Pressure Loss (m H2O)
MA-BPT1	86.2
BPT1-BPT2	119.6
BPT2-BPT3	122.7
BPT3-BPT4	67.9

BPT4-BPT5	62.9
BPT5-BPT6	58.1
BPT6-BPT7	118.2
BPT7-BPT8	90.3
BPT8-BPT9	49.2
BPT9-BPT10	71.2
BPT10-BPT11	42.6
BPT11-BPT12	57.7
BPT12-BPT13	69.6
BPT13-BPT14	68.8
BPT14-BPT15	45.4
BPT15-BPT16	83.5
BPT16-CH.	38.7

Nilai sisa tekan yang dihasilkan cukup besar dan bervariasi, dengan nilai tertinggi pada ruas perpipaan BPT 2 – BPT 3 adalah 122,7 mH₂O dan nilai sisa tekan terendah terdapat pada ruas perpipaan BPT 16 – Chamber yaitu 38,7 mH₂O. Semua nilai sisa tekan tersebut juga menjadi indikator bahwa tekanan dalam pipa masih disekitaran nilai tekanan maksimum pipa steel (103mH₂O*patokan batas maksimal) sebagai patokan rentang aman.

Dari hasil semua analisis di atas maka dapat disimpulkan bahwa debit rencana PDAB 250 liter/detik layak dijadikan sebagai debit optimal untuk menjalankan fungsi pelayanan air baku dan pelayanan listrik pada Sistem Transmisi Jalur Bregas II yang bisa dilaksanakan pada tahun 2015 berdasarkan RISPAM daerah Bregas. Hal ini terbukti dengan kuat pipa eksisting pada debit optimal mampu menahan kecepatan aliran yang terjadi dan memiliki cukup energi untuk mengalirkan air baku dari hulu ke hilir Jalur Bregas II, serta adanya perubahan nilai sisa tekan di tiap ruas perpipaan sehingga nanti diharapkan mampu menghasilkan nilai daya listrik yang layak untuk pelayanan listrik suatu

desa/pemukiman.

➤ **Perbandingan Perhitungan Manual dan Pemodelan Watercad Dalam Analisis Hidrolik Sistem Transmisi Jalur BREGAS II**

Analisis hidrolik yang dilakukan pada studi kali ini diteliti melalui metode perhitungan manual dan metode pemodelan dengan *software Watercad*. Untuk mencapai suatu nilai yang *valid*, maka dibandingkanlah dua metode tersebut agar hasil analisis hidrolik tidak terjadi kekeliruan untuk perencanaan pemanfaatan sistem transmisi pengaliran sumber daya air sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro/Minihidro nantinya. Jika tidak terdapat perbedaan hasil analisis yang signifikan maka nilai-nilai hidrolik dari perhitungan manual akan digunakan untuk perhitungan potensi energi. Debit yang akan digunakan dalam perbandingan dua metode ini adalah debit optimal 250 liter/detik.

Dalam membandingkan hasil perhitungan manual dan pemodelan *Watercad* akan diamati nilai *headloss*, sisa tekan, dan kecepatan sebagai parameter yang mempengaruhi kondisi hidrolik perpipaan Sistem Transmisi Jalur BREGAS II. Berikut perbandingan beberapa data hasil analisis hidrolik dari perhitungan manual dan pemodelan *Watercad*.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Analisis Hidrolik *Headloss* dan Sisa Tekan Dari Perhitungan Manual Dan Pemodelan *Watercad*

Dari Node ke Node	<i>Headloss</i> (m)		Sisa Tekan (m)	
	Manual	<i>Watercad</i>	Manual	<i>Watercad</i>
MA - BPT1	6.04	5.65	86.96	86.2
BPT 1 - BPT2	7.55	7.15	119.45	119.6
BPT 2 - BPT3	34.23	30.81	119.55	122.7
BPT 3 - BPT4	4.47	4.31	67.91	67.9
BPT 4 - BPT5	4.43	3.64	62.29	62.9
BPT 5 - BPT6	3.19	2.45	57.50	58.1

Dari Node ke Node	<i>Headloss</i> (m)		Sisa Tekan (m)	
	Manual	<i>Watercad</i>	Manual	<i>Watercad</i>
BPT 6 - BPT7	51.58	45.78	112.60	118.2
BPT 7 - BPT8	5.85	5.63	90.23	90.3
BPT 8 - BPT9	1.40	1.01	48.86	49.2
BPT 9 - BPT10	2.86	2.57	71.10	71.2
BPT 10 - BPT11	17.39	15.57	40.85	42.6
BPT 11 - BPT12	12.10	11.93	57.67	57.7
BPT 12 - BPT13	4.55	4.31	69.47	69.6
BPT 13 - BPT14	10.05	9.28	68.14	68.8
BPT 14 - BPT15	15.82	14.91	44.58	45.4
BPT 15 - BPT16	6.42	5.27	82.55	83.5
BPT 16 - Chamber	10.18	9.12	37.77	38.7

Dari pemaparan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa perhitungan manual dan pemodelan *Watercad* dalam analisis hidrolik tidak memberikan hasil nilai yang sama, semua dari parameter memiliki sedikit perbedaan angka kecuali pada parameter kecepatan aliran yang memiliki angka sama yaitu 1,27 m/s dan 1,99 m/s.

Pada parameter *headloss* perbedaan angka yang ditunjukkan berkisar antara 0,3 hingga 6 angka dan nilai sisa tekan perbedaan angka yang ditunjukkan berkisar antara 0,1 hingga 6 angka. Tetapi hasil data perbandingan tersebut tidak memiliki perbedaan angka yang terlalu signifikan, dalam arti sistem perpipaan transmisi yang dianalisis dari metode perhitungan manual dan pemodelan *Watercad* hampir menggambarkan kondisi hidrolik yang sama. Disimpulkan bahwa analisis hidrolik melalui pemodelan *Watercad* dan perhitungan manual memiliki perbedaan pada perhitungan *headloss minor*. Pada perhitungan manual digunakan rumus-rumus dasar hidraulika untuk menghasilkan nilai *headloss minor*, sedangkan pada pemodelan *Watercad* nilai *headloss minor* dianalisis secara otomatis jika tergambar belokan pipa atau aksesoris lainnya pada pemodelan. Hal tersebut



sedikit mempengaruhi hasil dari analisis hidrolis dari kedua metode dengan ditandai perbandingan angka pada parameter *headloss* dan sisa tekan.

➤ **Perhitungan Daya Potensi Energi Listrik dan Rekomendasi Turbin**

Tabel 7. Hasil Perhitungan Potensi Daya Listrik Dan Rekomendasi Turbin Pada Ruas Perpipaan Sistem Transmisi Jalur BREGAS II

Label	Potensi Daya (kW)	Rekomendasi Turbin
MA-BPT1	181.090	Pelton
BPT1-BPT2	248.754	Pelton
BPT2-BPT3	248.966	Pelton
BPT3-BPT4	141.424	Pelton
BPT4-BPT5	129.723	Pelton
BPT5-BPT6	119.739	Pelton
BPT6-BPT7	234.491	Pelton
BPT7-BPT8	187.908	Pelton
BPT8-BPT9	101.754	Pelton
BPT9-BPT10	148.068	Pelton
BPT10-BPT11	85.075	Pelton
BPT11-BPT12	120.095	Pelton
BPT12-BPT13	144.677	Pelton
BPT13-BPT14	141.895	Pelton
BPT14-BPT15	92.847	Pelton
BPT15-BPT16	171.918	Pelton
BPT16-CH.	83.276	Propeller/Kaplan

Dari hasil jumlah daya yang dihasilkan pada tiap ruas perpipaan, mayoritas potensi energi yang direncanakan untuk pembangkit listrik tergolong dalam kelas Minihidro (100 kiloWatt – 1 MegaWatt). Didapat nilai potensi energi tertinggi terdapat pada ruas perpipaan BPT 2 – BPT 3 dengan nilai 248,966 kW. Hanya tiga ruas perpipaan yang tergolong kelas Mikrohidro (5 kiloWatt – 100 KiloWatt), yaitu ruas perpipaan BPT 10 – BPT 11 dengan potensi daya 85,075 kW, ruas perpipaan

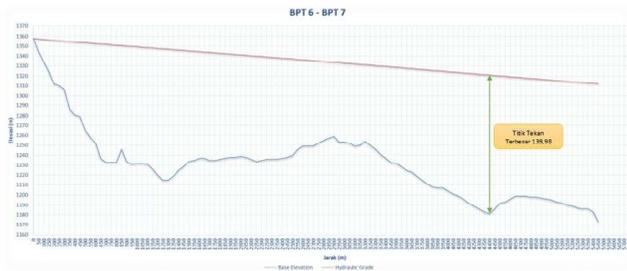
BPT 14 – BPT 15 dengan potensi daya 92,847 kW, dan ruas perpipaan BPT 16 – Chamber Kalibakung dengan potensi daya 83,276 kW.

Dari semua penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa potensi energi di beberapa ruas perpipaan (mayoritas) dengan debit optimal 250 liter/detik sudah mencapai kriteria layak untuk pelayanan listrik suatu desa/pemukiman sesuai dengan pedoman teknis PLTMH oleh Departemen ESDM dengan kebutuhan minimal daya listrik rata-rata 120 kW.

➤ **Perhitungan Tinggi Tekan Pada Perpipaan Sistem Transmisi Jalur Bregas II**

Pada perencanaan pembangunan PLTMH nantinya perlu diperhatikan lagi kuat tekan pipa eksisting Jalur Bregas II (pipa PE dan pipa *steel*) dengan cara menganalisis data tinggi tekan (beda tinggi antara HGL – elevasi dasar) yang dihasilkan pada analisis hidrolis debit optimal (250 liter/detik). Hasil analisis tersebut akan menjadi bahan evaluasi untuk mencapai keefektifan maupun efisiensi dan juga bisa untuk rekomendasi kelas pipa apabila nilai tinggi tekan melebihi nilai kuat tekan pipa dengan menentukan terlebih dahulu lokasi/titik tinggi tekan terbesar di tiap ruas perpipaan, dan setelah itu akan ditentukan pula lokasi/titik yang memiliki tinggi tekan yang paling berbahaya bagi kondisi perpipaan Jalur Bregas II secara keseluruhan.

Dari hasil perhitungan maka didapat posisi titik tekan yang paling berbahaya bagi kondisi pipa Sistem Transmisi Jalur Bregas II adalah titik jarak 11450 m dari mata air suci yang terletak di antara BPT 6 – BPT 7 dengan nilai tinggi tekan 139,98 m pada jenis pipa *steel*.



Gambar 18. Profil Memanjang Elevasi Dasar – HGL BPT 6 – BPT 7

4. Pemilihan Alternatif Lokasi

Dari hasil pemilihan alternatif lokasi, maka didapat tiga ruas perpipaan yang direkomendasikan sebagai prioritas lokasi pemasangan turbin pembangkit listrik. Lokasi-lokasi tersebut adalah ruas perpipaan BPT 6 – BPT 7, ruas perpipaan BPT 7 – BPT 8, dan ruas perpipaan BPT 9 – BPT 10.

Tabel 8. Hasil Observasi Tiga Calon Lokasi Terbaik Peletakan Turbin

Kriteria	BPT6-BPT7	BPT7-BPT8	BPT9-BPT10
Posisi pipa	Di bawah tanah	Di bawah tanah	Di bawah tanah
Daya yang dihasilkan	234 kW	188 kW	148 kW
Jarak dengan pemukiman	Dekat	Dekat	Dekat
Akses menuju lokasi	Mudah	Mudah	Mudah
Kondisi sepanjang jalur perpipaan	Aman	Aman	Aman
Hak kepemilikan tanah / peruntukan lahan	Pribadi	Pribadi	Pribadi

Tabel 9. Hasil Penilaian Tiga Calon Lokasi Terbaik Peletakan Turbin

Kriteria	BPT6-BPT7	BPT7-BPT8	BPT9-BPT10
Posisi pipa	5	5	5
Daya yang dihasilkan	9	8	5
Jarak dengan pemukiman	9	9	9
Akses menuju lokasi	8	8	8
Kondisi sepanjang jalur perpipaan	8	8	8

Kriteria	BPT6-BPT7	BPT7-BPT8	BPT9-BPT10
Hak kepemilikan tanah / peruntukan lahan	8	8	8
Total Nilai	47	46	43

KESIMPULAN

Kesimpulan secara keseluruhan dari studi tentang Kajian Kelayakan Pemanfaatan Suplai Air Baku Sistem Transmisi Jalur Bregas II PDAB Tirta Utama Jateng Unit Bregas Sebagai Potensi Energi Listrik adalah:

1. Kondisi eksisting hidrolik pipa Sistem Transmisi Jalur Bregas II mampu menahan kecepatan aliran yang terjadi dan memiliki cukup energi untuk mengalirkan air baku dari hulu ke hilir Jalur Bregas II. Kondisi hidrolik yang dihasilkan masih jauh dari batas maksimal kekuatan pipa eksisting yakni debit terukur (dengan menggunakan alat *ultrasonic flow meter*) rata-rata 152 liter/detik, kecepatan aliran 0,776 – 1,213 m/s, dan *headloss* di tiap ruas perpipaan masih di bawah nilai *head statis* dengan nilai 0,4 – 18,22 meter. Namun mayoritas daya listrik yang dihasilkan di tiap ruas pipa belum memenuhi kriteria sebagai pelayanan listrik (masih di bawah 120 kW). Dari semua hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa debit eksisting Sistem Transmisi Jalur Bregas II berpeluang untuk dioptimalkan.
2. Analisis hidrolik dengan debit optimal pada Sistem Transmisi Jalur Bregas II memiliki pengaruh terhadap perubahan nilai kondisi hidrolik pipa dan potensi energi yang dihasilkan. Dengan debit optimal 250 liter/detik dari debit rencana maksimal produksi PDAB (RISPAM Bregas) maka Sistem Transmisi Jalur Bregas II layak menjalankan fungsi sebagai pelayanan air baku dan pelayanan listrik pada tahun 2015. Kondisi hidrolik yang dihasilkan adalah kecepatan aliran 1,27



- 1,99 m/s, dan *headloss* di tiap ruas perpipaan masih di bawah nilai *head statis* dengan nilai 1,01 – 45,78 meter. Sedangkan potensi energi yang dihasilkan mayoritas di tiap ruas perpipaan memiliki daya di atas 120 kW (kapasitas minihidro/kriteria layak), rentang nilai potensi energi yang terdapat pada sistem transmisi Jalur Bregas II berkisar antara 83,28 kW – 248,97 kW.
3. Pada Sistem Transmisi Jalur Bregas II terdapat beberapa potensi lokasi untuk dibangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro/minihidro. Analisis pemilihan alternatif lokasi pemasangan turbin pembangkit listrik pada Sistem Transmisi Jalur Bregas II menghasilkan tiga lokasi terbaik yaitu ruas perpipaan BPT 6 – BPT 7 dengan potensi energi listrik 234 kW, ruas perpipaan BPT 7 – BPT 8 dengan potensi energi listrik 188 kW, dan ruas perpipaan BPT 9 – BPT 10 dengan potensi energi listrik 148 kW. Dari hasil daya dan penilaian aspek lainnya, maka rekomendasi prioritas tiga lokasi tersebut layak dimanfaatkan sebagai potensi energi listrik.

SARAN

Saran yang dapat diberikan sebagai masukan untuk studi selanjutnya tentang kajian kelayakan pemanfaatan suplai air baku sistem transmisi sebagai potensi energi listrik adalah:

1. Pentingnya untuk memahami cara kerja ataupun prosedur tepat dalam menggunakan alat yang digunakan untuk *sampling* data primer agar data yang diperoleh bisa dikatakan *valid*.
2. Perlu dilakukan penambahan alat *sampling* data hidrolik agar parameter data primer yang diperoleh cukup banyak untuk bisa dibandingkan dengan data sekunder.
3. Pentingnya untuk memahami *software*

pemodelan hidrolik yang digunakan untuk analisis hidrolik di dalam studi agar fungsi dari perangkat lunak bisa kita manfaatkan secara optimal.

4. Perlu disusun manajemen waktu yang baik mulai dari kegiatan koordinasi dengan pihak terkait hingga waktu pelaksanaan studi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 2010. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Arya, Doni Khaira. 2012. *Analisis Potensi Mikrohidro Berdasarkan Curah Hujan (Skripsi S1 Tidak Diterbitkan)*. Program Studi Meteorologi Fakultas Ilmu Dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Asmara, Gigih Yuli. 2009. *Panduan Dasar WaterCad*. Malang (Computer Program).
- Dietzel, Fritz. 1988. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 1999. *Petunjuk Teknis Perencanaan Rancangan Teknik Sistem Penyediaan Air Minum Perkotaan*. Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi. 2009. *Pedoman Studi Potensi (Pra Studi Kelayakan): Integrated Microhydro Development And Application Program (IMIDAP)*. Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH: Integrated Microhydro Development And Application Program (IMIDAP)*. Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. 2013. *Pengetahuan Bahan Plambing 1, Bidang Keahlian: Teknologi Dan Rekayasa (Teknik*



- Plumbing Dan Sanitasi*). Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia.
- Firmansyah, Ifhan. 2010. *Studi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dompjong 50kW Di Desa Dompjong, Bendungan, Trenggalek Untuk Mewujudkan Desa Mandiri Energi (DME) (Skripsi S1 Tidak Diterbitkan)*. Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.
- Fuadi, Zulfa. 2013. *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Pada Saluran Pipa PDAM Way Sekampung Desa Bumiarum, Kecamatan Pringsewu, Kabupaten Pringsewu (Skripsi S1 Tidak Diterbitkan)*. Bandar Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Indarto, Agus. 2012. *Kajian Potensi Sungai Srinjing Untuk Pembangkit listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Brumbung di Kabupaten Kediri (Thesis S2 Tidak Diterbitkan)*. Malang: Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.
- Ismail dkk (PLP Ahli Pertama LAB. Teknik Kendali Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura). 2013. *Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Meragun (Desa Meragun, Kec. Nanga Taman, Kab. Sekadau)*. Bidang Perencanaan Energi Baru dan Terbarukan PT. PLN (Persero) Wilayah Kalimantan Barat.
- Jatmiko. 2009. *Pemanfaatan Pemandian Umum Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Mikrohidro (PLTMH) Menggunakan Kincir Tipe Overshot (Jurnal Emitor Vol.12 No.01 ISSN 1411-8890)*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Kadir, Ramli. 2010. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Sungai Marimpa Kecamatan Pinembani (Tugas akhir tidak diterbitkan)*. Palu: Universitas Tadulako.
- Klaas. K. S. Y. 2009. *Desain Jaringan Pipa*. Bandung: Mandor Maju.
- Kodoatie, Robert J. 2002. *Hidrolika Terapan: Aliran Pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta: ANDI.
- Linsley, R.K. dan Franzini, J.B. 1991. *Teknik Sumber Daya Air I dan II*. Jakarta: Erlangga
- Maher, P., & Smith, N. 2001. *Pico Hydro for Village Power*. Practical Manual for Schemes Up To 5 kW in Hilly Areas.
- Mustari, Mohamad. 2012. *Pengantar Metode Penelitian*. Yogyakarta: LaksBang PRESSindo.
- Notosudjono, D. 2002. *Perencanaan PLTMH di Indonesia*. BPPT. Hal 68.
- Peavy, Howard S et.al. 1985. *Environmental Engineering*. Singapura: McGraw-Hill.
- Pemerintah Indonesia. 2007. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 18/PRT/M/2007 Tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum*. Sekretariat Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Penche, C., & Minas, I.d. 1998. *Layman's Guide Book on How to Develop a Small Hydro Site*. Brussel: European Small Hydropower Association.
- Rayo, Anthon Jontah. 2011. *Studi Potensi Pemanfaatan Air Sungai Lokotua Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro 60 kW Di Desa Buntusarek, Kecamatan Belopa, Kabupaten Luwu, Sulawesi Selatan (Skripsi S1 Tidak Diterbitkan)*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro ITS.
- Santiago, Moch. Taufan B. 2014. *Grafik Hubungan Daya Listrik Dengan Biaya Konstruksi Sipil Pada Sungai Watunohu Kabupaten Kolaka Utara Sulawesi Tenggara (Skripsi S1 Tidak Diterbitkan)*. Jurusan Sipil Fakultas Teknik universitas Hasanuddin Makassar.
- Sarwono, Jonathan. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif Dan Kualitatif*.



Yogyakarta: Graha Ilmu.
Siswanto, Victorianus Aries. 2012. *Strategi Dan Langkah-langkah Penelitian*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
Soemarto, C.D. 1987. *Hidrologi Teknik Edisi I*. Surabaya: Usaha Nasional.

Triatmodjo, Bambang. 1993. *Hidrolika I*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
Triatmodjo, Bambang. 1993. *Hidrolika II*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.