

# Bimbingan Teknis Penerapan Teknologi Turbin Air Piko hidro Untuk Pemanfaatan Aliran Pada Pipa Buangan di Unit Instalasi Pengolahan Air Tirta Meulaboh

Pribadyo<sup>1\*</sup>, Dailami<sup>2</sup>, H Jagodang<sup>3</sup>, Wahyudin<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar  
Jln. Alue Penyareng, Meulaboh - Aceh Barat 23615 INDONESIA

<sup>1\*</sup>pribadyo@utu.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B. Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

<sup>2</sup>dailamiteknik@gmail.com

<sup>3</sup>Jurusan Teknologi Pengelasan Logam, Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat  
Komplek STTU Alue Peunyareng, Aceh Barat 23681 INDONESIA

<sup>3</sup>jagodang.wasco@gmail.com

**Abstrak**— Instalasi pengolahan air di Perusahaan Air Minum secara tidak langsung bertanggung jawab atas penipisan sumber daya alam dan pelepasan langsung polutan ke air tanah. Selain itu, penggunaan bahan kimia dalam proses koagulasi dan remineralisasi memberikan kontribusi terbesar kedua terhadap lingkungan setelah konsumsi energi. Oleh karena itu, kesadaran akan peran sumber daya manusia di perusahaan perlu ditingkatkan untuk dapat memberikan solusi terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan. Bimbingan teknis ini bertujuan untuk transfer teknologi dan meningkatkan kesadaran pegawai di lingkungan PDAM Tirta Meulaboh. Hasil pendampingan dengan penerapan turbin air piko hidro pada pipa saluran pembuangan dapat berperan ganda selain menghasilkan energi juga memberikan manfaat bagi peserta bimbingan juga lingkungan dengan tanpa merusak komponen peralatan yang ada, artinya kegiatan yang telah dilakukan pada gilirannya dapat memberikan wawasan teknologi dan kenyamanan kerja.

**Kata kunci**— Sumber daya manusia; bimbingan teknis, transfer teknologi, pendampingan; lingkungan.

**Abstract**— *Water treatment plants in Water Supply Companies are indirectly responsible for the depletion of natural resources and the immediate release of pollutants into groundwater. In addition, using chemicals in the coagulation and remineralization processes provides the second largest contribution to the environment after energy consumption. Therefore, awareness of the role of human resources in the company needs to be increased to be able to provide solutions to the environmental impacts caused. This technical guidance is to transfer technology and increase employee awareness within PDAM Tirta Meulaboh. The results of the assistance to the application of the pico hydro water turbine on the sewer pipe can play a dual role in addition to producing energy but also providing benefits for the environment without damaging existing equipment components, meaning that the activities that have been carried out, in turn, can provide technological insight and work comfort.*

**Keywords**— Human resources; technical guidance, technology transfer, mentoring; environment.

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan jumlah populasi manusia persoalan keamanan air, makanan dan energi muncul sebagai isu penting dan vital sebagai akibat dari menurunnya kualitas serta ketersediaan sumber dayanya. Meskipun ekosistem alami selaras dengan kualitas air alami, namun setiap perubahan kualitas air yang signifikan biasanya akan mengganggu ekosistem bahkan dapat menimbulkan ancaman besar bagi lingkungan [1; 2; 3]. Data laporan Sekretaris Jenderal Komisi PBB untuk pembangunan berkelanjutan [4], bahwa tidak ada keberlanjutan dalam penggunaan air tawar oleh negara-negara berkembang atau negara maju hingga penggunaan air diseluruh dunia mengalami peningkatan lebih dari tiga kali populasi dunia saat ini dan menyebabkan degradasi pada lingkungan.

Degradasi lingkungan untuk penyediaan air bersih dan sanitasi telah menjadi masalah, karenanya Indonesia dan 192 negara bersepakat guna pemenuhan akses air dan sanitasi yang wajib dicapai oleh masyarakat dunia di tahun 2030 [5]. Namun demikian, tanpa disadari menurunnya kualitas ketersediaan sumber daya air lebih dominan dipengaruhi oleh aktifitas manusia itu sendiri, baik dalam pemanfaatan juga efek simultan dari pertumbuhan lahan pertanian, urbanisasi

dan industrialisasi seperti halnya industri pengolahan air di PDAM [6;7].

Industri pengolahan air seperti halnya Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) secara tidak langsung turut bertanggung jawab atas dampak lingkungan yang terjadi secara global seperti, menipisnya sumber daya alam dan pelepasan langsung polutan kedalam air, tanah maupun udara [8]. Sementara penggunaan bahan kimia terutama dalam proses koagulasi dan remineralisasi berkontribusi kedua terbesar dalam dampak terhadap lingkungan setelah konsumsi energi [9]. Pada prosesnya, pengolahan air dengan teknologi seperti desalinasi dan *reverse osmosis* berdampak lebih besar bila dibandingkan pengolahan air secara konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengolah 200.000 m<sup>3</sup> air baku membutuhkan energi listrik sebesar 3638±503 kWh/hari dengan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan untuk pengolahan secara konvensional adalah sebesar 2031±281 kg CO<sub>2</sub>/hari [10]. Karenanya peran manusia sangat dibutuhkan baik dalam proses pengelolaan maupun dalam bentuk inovasi teknologi yang tepat sehingga keberlangsungan proses menjadi lebih bermanfaat bagi kehidupan dan lingkungan.

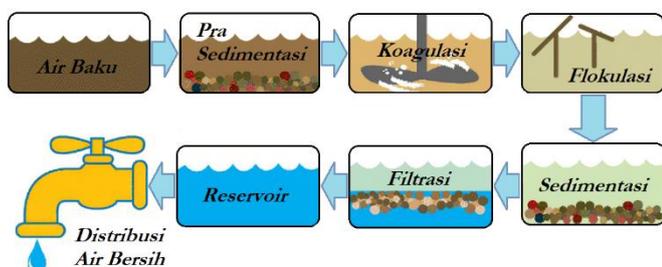
### A. Analisis Situasi

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Meulaboh merupakan sebuah badan usaha milik pemerintah daerah Kabupaten Aceh Barat yang dibangun pada tahun 1982 dan mulai beroperasi di tahun 1983. Awalnya bernama Badan Pengelola Air Minum (BPAM) dibentuk berdasarkan surat keputusan Bupati Aceh Barat dengan nomor 604/194-IV/1983, dan ditetapkan kembali melalui peraturan pemerintah daerah nomor 11 tahun 1993 tentang pembentukan PDAM Tirta Meulaboh. PDAM Tirta Meulaboh terletak di Kecamatan Johan Pahlawan yang secara geografis berada pada 04°6’-04°47’ LU dan 95°52’-96°30’ BT.

PDAM Tirta Meulaboh menjangkau tiga daerah layanan dengan empat fasilitas Instalasi Pengolahan Air (IPA) yang berlokasi di Desa Lapang, IKK Arongan Lambalek Kecamatan Johan Pahlawan, IPA Rantau Panjang di Desa Meureubo Kecamatan Meureubo dan IPA Beureugang di Desa Beureugang Kecamatan Kaway XVI. Sumber air baku yang digunakan PDAM Tirta Meulaboh bersumber dari sungai Meureubo dan sungai Beureugang. IPA Lapang sumber air bakunya diambil dari sungai Meureubo yang memiliki debit 100 m<sup>3</sup>/detik. Pengambilan air baku dilakukan menggunakan bangunan sadap/intake, kemudian dipompa menggunakan dua unit pompa intake (*Submersible Pump*) dengan kapasitas pompa, masing-masing adalah 40 liter/detik pada head 25 m. Kapasitas IPA Lapang adalah sebesar 80 liter/detik dengan panjang distribusi 92 Km. infrastruktur dengan pelayanan air bersih yang ada saat ini meliputi sumber air, bangunan sadap, pemompaan, instalasi pengolahan air dan jaringan distribusi.

Tahapan pengolahan air di PDAM Tirta Meulaboh adalah sebagai berikut:

- Tahapan koagulasi dan flokulasi  
Air baku dengan kekeruhan 0,675 NTU dan TSS 2,49 mg/L dapat diturunkan secara efektif dengan koagulasi dan flokulasi untuk membentuk flok.
  - Tahap sedimentasi  
Tahapan untuk memisahkan partikel flok yang telah terbentuk.
  - Tahap filtrasi  
Tahapan untuk memisahkan partikel yang masih lolos dalam proses pengendapan.
  - Tahap desinfeksi  
Tahapan ini adalah untuk mematikan mikroorganisme yang masih terkandung dalam air olahan.
- Skema unit pengolahan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar1. Skema Unit Pengolahan Air Minum PDAM Tirta Meulaboh

Dalam prosesnya banyak potensi dari aliran di pipa buangan saat proses pengolahan air di unit instalasi air (IPA) yang tidak dipakai dan dibuang ke lingkungan, sehingga secara tidak langsung berdampak terhadap ekosistem. Air yang mengalir dalam pipa memiliki beberapa macam energi,

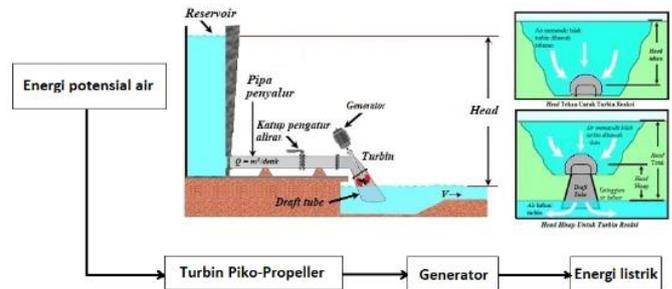
yaitu energi kinetik, energi potensial dan kehilangan energi. Secara teoritis ketiga energi tersebut dapat dinyatakan dalam sebuah persamaan Hukum Bernoulli [11]:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + h_f \quad (1)$$

Tinggi energi kinetiknya adalah;  $h = \frac{V^2}{2g}$

Dengan  $P$  adalah tekanan (atm),  $g$  adalah gravitasi (m/det<sup>2</sup>),  $V$  adalah kecepatan aliran (m/det) dan  $\gamma$  adalah berat jenis (kg/m<sup>3</sup>).

Dalam skema sistem konversi tenaga, energi yang tersimpan dalam aliran dapat diubah bentuk menjadi energi mekanik atau listrik melalui generator menggunakan teknologi pembangkit listrik tenaga air [12]. Gambar 2 adalah skema sistem konversi energi dari energi potensial air menjadi energi listrik yang terdapat pada unit instalasi pengolahan air minum Tirta Meulaboh.



Gambar 2. Skema sistem proses konversi energi air menjadi listrik

**B. Permasalahan Mitra**

Berdasarkan analisis situasi maka, permasalahan mitra dinyatakan dalam Tabel 1.

Tabel 1: Permasalahan mitra

No.	Permasalahan	Uraian
1.	Kurangnya tingkat pengetahuan karyawan akan potensi sumber-sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk mengekstraksi energi aliran menjadi sumber energi melalui sistem konversi energi air.	Belum adanya penjelasan untuk berbagai macam dan jenis sumber potensi energi terbarukan yang dapat dikelola menjadi sumber energi. Kurangnya mendapatkan pengetahuan yang layak terkait teknologi turbin air yang dapat diaplikasikan dengan pemanfaatan potensi sumber alam.
2.	Masih minimnya kesadaran karyawan dan kepedulian dalam menjaga lingkungan kerja. Kurangnya kerjasama untuk pengelolaan lingkungan yang ada.	Belum adanya pelatihan ataupun bimbingan dalam mengoptimalkan potensi SDM, dan kerjasama untuk keberdayaan dalam satu tujuan bersama akan pentingnya menjaga lingkungan kerja.

**C. Tujuan Kegiatan**

Secara umum kegiatan bertujuan untuk meningkatkan keterampilan dan kepedulian terhadap lingkungan pada industri pengolahann air minum. Untuk serangkaian tujuan yang ingin dicapai dalam kegiatan ini adalah memberikan ketrampilan teknis dalam pengelolaan limbah buangan air dari



(MWh),  $EF_{grid,CM,y}$  adalah besarnya faktor emisi GRK sistem interkoneksi Sumatera ( $tCO_2e/MWh$ ).

2. Perhitungan emisi  $CO_2$  dari penggunaan bahan bakar solar  
 Perhitungan emis  $CO_2$  dari penggunaan bahan bakar solar, dihitung dengan persamaan:

$$PE_{FF,y} = (FC_{i,y} \times \rho_i) \times 10^{-3} \times COEF_{i,y} \quad (4)$$

Dengan  $PE_{FF,y}$  adalah emisi  $CO_2$  dari pembakaran bahan bakar solar ( $tCO_2e$ ),  $FC_{i,y}$  adalah jumlah bahan bakar diesel yang digunakan (liter),  $\rho_i$  adalah densitas bahan bakar diesel (kg/liter),  $COEF_{i,y}$  adalah koefisien emisi  $CO_2$  dari diesel ( $tCO_2/tonne\ diesel$ ).

Koefisien emisi  $CO_2$   $COEF_{i,y}$  dihitung dengan persamaan:

$$COEF_{i,y} = NCV_{i,y} \times 10^{-3} \times EF_{CO_2,i,y} \quad (5)$$

Dengan  $NCV_{i,y}$  adalah nilai kalor bersih diesel (GJ/kg) dan  $EF_{CO_2,i,y}$  adalah factor emisi (FE)  $CO_2$  diesel ( $tCO_2/GJ$ ).

3. Perhitungan Reduksi Emisi

Reduksi emisi dihitung dengan persamaan:

$$ER_y = BE_y - PE_y - L_y \quad (6)$$

Dengan  $ER_y$  adalah besarnya pengurangan emisi ( $tCO_2e$ ),  $BE_y$  adalah *baseline* emisi ( $tCO_2e$ ),  $PE_y$  adalah besarnya emisi yang dihasilkan dari operasional pembangkit ( $tCO_2e$ ),  $L_y$  adalah besarnya kebocoran ( $tCO_2e$ ).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan bimbingan teknis peningkatan nilai ekonomis dari manfaat air buangan melalui penerapan teknologi untuk energi yang berwawasan lingkungan secara garis besar mencakup beberapa kegiatan, antara lain adalah keberhasilan ketercapaian target materi yang telah direncanakan, ketercapaian tujuan pendampingan dan kemampuan peserta dalam penguasaan materi dan praktek. Ketercapaian target penguasaan materi, semua peserta dapat mengikuti seluruh tahapan proses pendampingan dari awal hingga akhir dari kegiatan yang dirancang 100% terlaksana dengan baik. Target penyampaian materi pendampingan juga tercapai karena materi dapat disampaikan secara menyeluruh. Dengan demikian, maka tujuan kegiatan bimbingan teknis telah terpenuhi. Penguasaan kompetensi perserta dievaluasi melalui praktek. Sebagian besar peserta (80%) telah memahami dan mampu melakukan pekerjaan perbaikan, mampu menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan dan menyusun langkah pekerjaan perbaikan.



Gambar 5: Sosialisasi *non-formal* dengan pimpinan PDAM

Selain itu peserta juga mampu mendefinisikan dan merancang konsep pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk lokasi yang lain.



Gambar 6: Sosialisasi dan pembekalan



Gambar 7: Sosialisasi dan pembekalan



Gambar 8: Proses pemasangan turbin



Gambar 9: Proses pemasangan turbin



Gambar 10: Proses pemasangan turbin



Gambar 11: Proses perbaikan komponen poros turbin



Gambar 12: Hasil instal turbin pada lokasi

Dengan bimbingan teknis yang dilaksanakan ini para peserta mendapatkan pengetahuan bagaimana menjaga kelestarian lingkungan tanpa merusak komponen yang ada, selain juga memotivasi peserta bagaimana cara mengidentifikasi serta mencari solusi terhadap permasalahan lingkungan yang dihadapi, menjalin kerjasama antar peserta. Sehingga kemampuan tersebut para peserta sebagai pelaku utama di perusahaan menjadi lebih termotivasi untuk terus menjalankan pekerjaan dengan rasa nyaman karena lingkungan terjaga.

**3.1 Perhitungan Potensi Energi Aliran Air**

Untuk mengetahui besarnya penghematan energi di PDAM Tirta Meulaboh sangat penting memperkirakan ketersediaan debit aliran dan head yang ada pada lokasi dalam menghasilkan tenaga potensial daya guna atau potensi air yang dapat dimanfaatkan.

Secara teoritis potensi energi aliran air yang memiliki tinggi jatuh air (Head) m, dengan kapasitas air (debit) m<sup>3</sup>/detik, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P_w = \rho g Q h \tag{7}$$

Dengan;  $\rho$  adalah densitas air,  $g$  adalah gaya gravitasi ( $m^2/s$ ),  $Q$  adalah debit air ( $m^3/detik$ ) dan  $h$  adalah tinggi jatuh air ( $m$ ).

**3.2 Perhitungan Kapasitas Daya Teoritis ( $P_d$ )**

Besarnya kapasitas daya air pada suatu aliran air dalam pipa buangan diunit instalasi pengolahan air PDAM Tirta Meulaboh dengan parameter data perhitungan sebagai berikut:

1. Debit aliran 0,00134 m<sup>3</sup>/detik sampai dengan 0,0047 m<sup>3</sup>/detik.
2. Efisiensi hidraulik diasumsikan adalah 0,85%.
3. Tinggi jatuh air (*head*) adalah 1 m sampai dengan 8 meter.

Maka, secara teori daya yang dapat dibangkitkan berdasarkan potensi debit aliran 0,00134 m<sup>3</sup>/detik dengan ketinggian 1 m, dengan persamaan 7 adalah:

$$P_d = 998 \times 9,8 \times 0,00134 \times 1 \times 0,85$$

$$P_d = 11,14 \text{ Watt} = 0,012 \text{ kW}$$

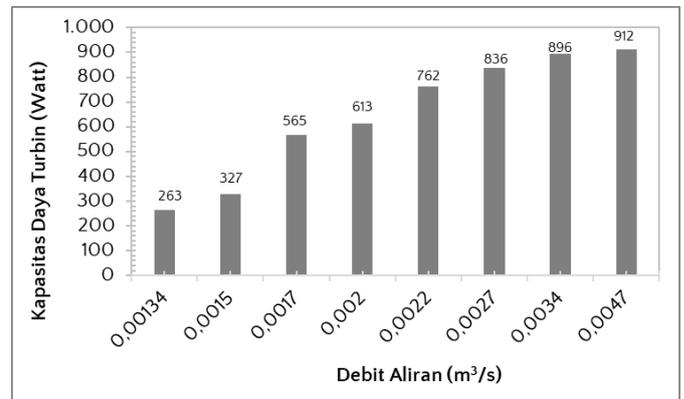
Sehingga, daya teoritis rata-rata dari debit aliran dalam pipa buangan di unit instalasi pengolahan air PDAM Tirta Meulaboh dapat menghasilkan energi listrik sebesar:

$$= 9,8 \times 0,00244 \times 4,5 \times 0,85 \times 998$$

$$= 91,28 \text{ Watt} = 0,0913 \text{ kW}$$

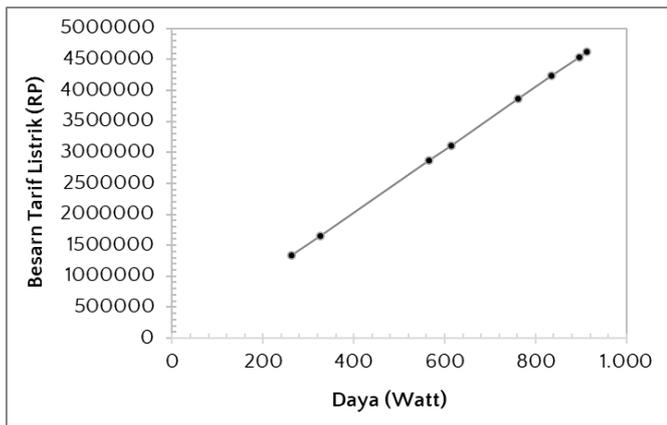
**3.3 Estimasi Peluang Penghematan Energi**

Estimasi peluang penghematan energi dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian ditunjukkan dalam Gambar 13.

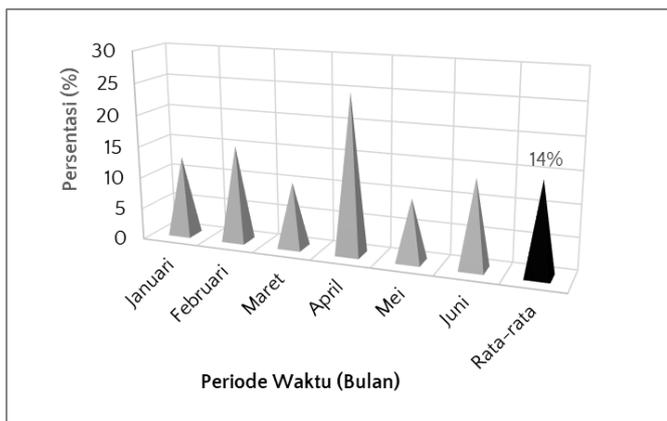


Gambar 13: Grafik kapasitas daya turbin dalam waktu 1 (satu) bulan

Nilai penghematan energi secara sederhana dihitung berdasarkan jumlah pemakaian dikurangi energi terbangkit dari turbin yang diuji. Menggunakan golongan tarif terendah dimana listrik hasil dari turbin diasumsikan akan digunakan untuk penerangan pada kantor di Unit IPA PDAM Tirta Meulaboh. Sehingga masuk dalam golongan RI/TR (0-450 VA). Dalam perhitungan menggunakan kalkulator tarif dasar listrik berdasarkan skema resmi terbaru yang telah dirilis oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM). Dari perhitungan diperoleh bahwa besaran biaya tarif listrik dan persentase penghematan energi berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan dalam Gambar 14 dan 15.



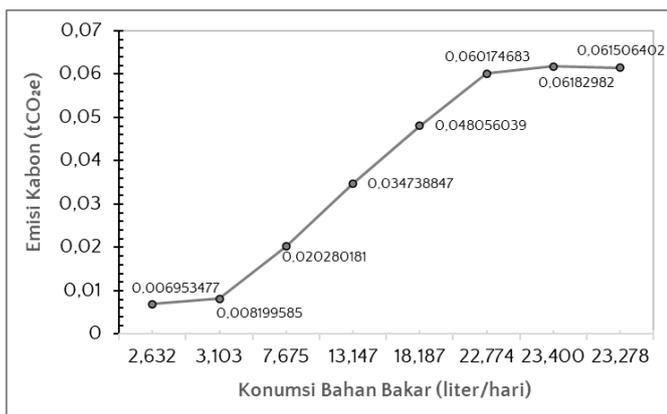
Gambar 14: Grafik estimasi tarif listrik terhadap daya dalam satu bulan



Gambar 15: Persentase penghematan energi dalam periode waktu satu bulan

### 3.4 Estimasi Penurunan Emisi Karbon (CO<sub>2</sub>e)

Emisi CO<sub>2</sub> dari turbin dengan asumsi menggunakan bahan bakar fosil (solar), dengan nilai  $\rho_i$  (densitas) rata-rata untuk solar adalah 0,848 kg/liter (bppt.go.id), dan koefisien emisi CO<sub>2</sub> dari bahan bakar diesel 0,89 (ESDM, 2018). Dengan persamaan 4 dan 5, hasil estimasi ditunjukkan pada Gambar 16.



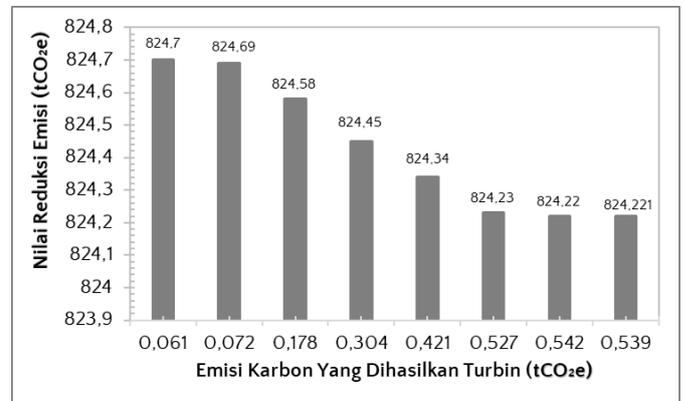
Gambar 16: Perbandingan estimasi emisi karbon (CO<sub>2</sub>e) terhadap konsumsi bahan bakar (solar)

Dari gambar 16 terlihat bahwa hasil estimasi emisi karbon terhadap konsumsi bahan bakar dalam penerapan turbin memiliki perbedaan dan tingkat emisi karbon. Perhitungan baseline emisi CO<sub>2</sub> dari pembangkit (PLN) menggunakan faktor emisi CO<sub>2</sub> pada jaringan interkoneksi Sumatera sebesar 0,805 tCO<sub>2</sub>e/MW (KESDM-d2017). Hasil perhitungan

baseline emisi ( $B_{ey}$ ) yang menggunakan persamaan (6) adalah sebesar 12693,64 tCO<sub>2</sub>e.

### 3.5 Estimasi Nilai Reduksi Emisi Karbon CO<sub>2</sub>

Nilai reduksi emisi CO<sub>2</sub> dihitung dengan mengurangi antara emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dengan nilai baseline, dengan kebocoran emisi diasumsikan nol (persamaan 6). Hasil estimasi nilai reduksi emisi karbon ditunjukkan dalam gambar 17.



Gambar 17: Grafik hubungan emisi karbon terhadap nilai reduksi emisi karbon CO<sub>2</sub>e

Gambar 17 menunjukkan nilai emisi karbon yang dapat direduksi menggunakan turbin. Dari hasil perhitungan reduksi emisi CO<sub>2</sub> rata-rata adalah sebesar 824,456 tCO<sub>2</sub>e. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa dengan kapasitas pembangkit dari turbin sebesar 0,033 MW setidaknya telah mampu mereduksi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0,04% dari *baseline*.

## IV. KESIMPULAN

Peserta bimbingan teknis memiliki motivasi yang cukup baik dalam mengikuti seluruh materi yang disampaikan, hal ini selain peserta memiliki pemahaman lebih dari sistem yang dipelajari, juga materi yang disampaikan menarik karena topik permasalahan merupakan hal baru bagi mereka. Lebih dari 80% peserta telah mampu melakukan pekerjaan perawatan dan perbaikan turbin. Selain itu dengan bimbingan teknis yang telah diperoleh, peserta memiliki pemahaman dalam kepedulian terhadap lingkungan kerja, hal ini dapat dilihat dari tingkat antusiasme peserta dalam mengikuti bimbingan yang diberikan dan dari hasil pendampingan mengenai untuk estimasi nilai ekonomi yang bisa dikalkulasikan dan dari penerapan teknologi turbin air untuk meminimalisir tingkat emisi karbon dengan tanpa merusak komponen yang ada.

Dengan demikian pilihan energi terbarukan untuk sumber energi adalah langkah tepat guna mengurangi dampak lingkungan, kerentanan energi, dan berkontribusi dalam peningkatan ekonomi. Signifikansi peluang untuk peningkatan sumber daya manusia melalui bimbingan teknis dalam pengelolaan sumber energi terbarukan melalui penggunaan teknologi hijau (*Green Technology*) perlu terus dimasyarakatkan. Karenanya kegiatan ini membantu memberikan pemahaman dalam transfer teknologi, untuk sumber energi terbarukan dan untuk berkontribusi dalam program diversifikasi energi dan konservasi energi untuk penggunaan produk bersih. Selain itu, nilai manfaat teknologi dari aspek energi untuk nilai ekonomi dan lingkungan juga menjadi perhatian dalam kegiatan.

REFERENSI

- [1] G. Mitchell, "Problems and fundamentals of sustainable development indicators," *Sustain. Dev.*, 1996, vol. 4, no. 1, pp. 1–11.
- [2] G. Jusuf and W. Darajati, *Metadata indikator tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB) /sustainable development goals (SDGs) Indonesia: pilar pembangunan lingkungan*. 2017.
- [3] W. Duan and K. Takara, "Impacts of Climate and Human Activities on Water Resources and Quality," *Impacts Clim. Hum. Act. Water Resour. Qual.*, 2020.
- [4] UNCSO, "Comprehensive Assessment of The Fresh Water Resources of The World," pp. 1–39, 1997.
- [5] BAPENAS, *Pilar pembangunan*. 2020.
- [6] N. E. Peters and M. Meybeck, "Water quality degradation effects on freshwater availability: Impacts of human activities," *Water Int.*, 2000, vol. 25, no. 2, pp. 185–193.
- [7] G. Sun and P. Caldwell, "Impacts of Urbanization on Stream Water Quantity and Quality in the United States," *Water Resour. Impact*, 2015, vol. Volume 17, no. 1, pp. 17–20.
- [8] A. Bonton, C. Bouchard, B. Barbeau, and S. Jedrzejak, "Comparative life cycle assessment of water treatment plants," *Desalination*, 2012, vol. 284, pp. 42–54.
- [9] F. Vince, E. Aoustin, P. Bréant, and F. Marechal, "LCA tool for the environmental evaluation of potable water production," *Desalination*, 2008, vol. 220, no. 1–3, pp. 37–56.
- [10] D. Kyung, D. Kim, N. Park, and W. Lee, "Estimation of CO2 emission from water treatment plant - Model development and application," *J. Environ. Manage.*, 2013, vol. 131, pp. 74–81.
- [11] B. Triatmodjo, *"Hidrologi terapan"*. Cetakan kedua, ISBN: 978 – 979 – 8541 – 40 – 7. Beta Offset, Yogyakarta
- [12] Agreement IEA Hydropower, "Implementing Agreement for Hydropower Technologies and Programmes - Annex III - Hydropower and the Environment: Present Context and Guidelines for Future Action (Subtask 5 Report) -- Volume II: Main Report," in *International Energy Agency*, vol. II, May, 2000.
- [13] S. Bastianoni, D. Caro, S. Borghesi, and F. M. Pulselli, "The effect of a consumption-based accounting method in national GHG inventories : a trilateral trade system application", 2014, vol. 2, January, pp. 1–8.
- [14] UNFCCC, "Nationally determined contributions under the Paris Agreement," 2021.