

Analisis Pemanfaatan Energi Terbuang pada *Ballast Load* Di PLTMH Suka Sama

Analysis of Waste Energy Utilization in Ballast Load at Suka Sama Micro Hydro Power Plant

Hengki Purba*
Teknik Elektro
Universitas Negeri Medan
Medan, Indonesia
hengkipurba98@gmail.com

Olnes Yosefa Hutajulu
Teknik Elektro
Universitas Negeri Medan
Medan, Indonesia
olnes.hutajulu@unimed.ac.id

Arwadi Sinuraya
Teknik Elektro
Universitas Negeri Medan
Medan, Indonesia
arwadisinuraya@unimed.ac.id

Puji Mory Nababan
Teknik Elektro
Universitas Negeri Medan
Medan, Indonesia
pujimorynababan@gmail.com

Diterima : Mei 2024
Disetujui : Juli 2024
Dipublikasi : Juli 2024

Abstrak - Daya listrik yang dihasilkan PLTMH seharusnya dapat di dimanfaatkan seluruhnya tanpa ada yang harus dibuang. PLTMH Suka Sama yang dilengkapi *Electronic Load Controller* (ELC), menyebabkan daya listrik yang tidak terpakai dibuang ke *ballast load*. Tindakan ini diperlukan untuk menjaga stabilitas frekuensi sistem jika terjadi kelebihan daya saat penurunan permintaan beban. Pemanfaatan energi PLTMH Suka Sama dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan daya listrik yang terbuang ke *ballast load* untuk mengolah air nira menjadi gula merah menggunakan vakum evaporator. Potensi energi listrik yang terbuang ke *ballast load* akan dihitung berdasarkan data perbandingan daya PLTMH yang digunakan dengan yang dibuang saat beban puncak dan beban rendah selama 9 hari. Hasil penelitian menunjukkan besar data yang dialihkan ke *ballast load* sebesar 2.000 W hingga > 3.000 W selama 4-7 jam/hari. Hasil penelitian ini memperlihatkan, bahwa dapat dilakukan pemanfaatan energi listrik yang dibuang ke *ballast load* untuk memproduksi gula aren dengan vakum evaporator berkapasitas 2.000 W selama 4-5 jam. Energi yang terbuang jika dimanfaatkan ternyata mampu menghasilkan menghasilkan 2,5 kg hingga 3,5 kg gula merah.

Kata Kunci: *Ballast load*; efisiensi energi; *electronic load controller*; kelebihan energi; pembangkit mikro hidro.

Abstract - The electrical power generated by a Micro Hydropower Plant (PLTMH) should be fully utilized without any wastage. The PLTMH Suka Sama, equipped with an *Electronic Load Controller* (ELC), diverts unused electrical power to a *ballast load*. This action is necessary to maintain system frequency stability in the event of excess power during a drop in demand. The utilization of energy from PLTMH Suka Sama can be improved by using the electrical power diverted to the *ballast load* to process sugarcane juice into

palm sugar using a vacuum evaporator. The potential energy wasted to the ballast load will be calculated based on the comparison data of the power used by the PLTMH and the power wasted during peak and low demand periods over 9 days. The study results show that the power diverted to the ballast load ranges from 2,000 W to over 3,000 W for 4-7 hours per day. This research indicates that the wasted electrical energy can be utilized to produce palm sugar using a vacuum evaporator with a capacity of 2,000 W for 4-5 hours. The wasted energy, if utilized, can produce 2.5 kg to 3.5 kg of palm sugar.

Keywords: *Ballast load*; energy efficiency; *electronic load controller*; excess energy; micro hydro power plant.

I. PENDAHULUAN

Pengaturan kecepatan putar rotor generator pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti menggunakan alat governor atau *electronic load controller* (ELC). Secara prinsip, governor pada PLTMH adalah perangkat mekanis yang mengatur debit air yang masuk ke turbin agar sesuai dengan daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit, sehingga putaran rotor tetap konstan [1-3]. Sebaliknya, ELC adalah perangkat kontrol yang berfungsi untuk mengalihkan daya listrik berlebih yang dihasilkan oleh generator ke beban pengganti (*ballast load*), sehingga frekuensi (Hz), tegangan (volt), dan putaran generator tetap terkendali dan stabil [4-6].

PLTMH Suka Sama menggunakan sistem ELC untuk mengatur bebannya. Sistem ini bekerja dengan prinsip

membuang kelebihan daya ke *ballast load* ketika PLTMH berada dalam kondisi beban rendah. Di Desa Ketangkuhan, terdapat juga industri gula merah yang masih menggunakan kayu bakar untuk mengolah air nira menjadi gula merah. Metode ini sangat bergantung pada ketersediaan kayu bakar dalam jumlah besar. Seringkali, proses pengolahan air nira menjadi gula merah terhambat oleh kurangnya pasokan kayu bakar, dan untuk menyediakan kayu bakar yang cukup memerlukan biaya yang besar. Kelemahan lain dari bahan bakar kayu adalah waktu yang lama untuk menghasilkan api besar, yang menyebabkan proses pemasakan air nira menjadi tidak efisien dan memakan waktu lama.

Pengolahan nira menjadi gula merah secara tradisional memiliki kelemahan dalam proses pemanasan, sehingga kualitas gula merah yang dihasilkan tidak baik. Oleh karena itu, diperlukan teknologi untuk memasak nira agar kualitas gula merah yang dihasilkan lebih baik. Mesin vakum evaporator adalah alat yang digunakan untuk mengurangi kadar air pada bahan cair. Prinsip kerjanya mirip dengan mesin pengering vakum, yaitu pemanasan langsung pada bahan dengan pengaturan suhu yang dapat dikendalikan. Mesin ini bekerja dalam kondisi vakum pada tekanan rendah, sehingga proses penguapan dapat berlangsung pada suhu rendah, mengurangi kerusakan akibat suhu tinggi [7-8].

Pada penelitian ini akan dilakukan pengambilan data perbandingan daya yang digunakan beban dan daya yang terbuang pada PLTMH Suka Sama dengan observasi langsung. Data yang diambil merupakan data primer yaitu data pengukuran secara langsung daya dan energi yang masuk ke *ballast load*. Pengukuran dilakukan saat kondisi beban rendah di PLTMH. Kondisi ini umumnya terjadi saat siang hari dimana penduduk sedang tidak banyak menggunakan energi listrik karena sebagian besar masyarakat pergi ke kebun. Data yang diperoleh akan digunakan sebagai dasar menghitung besarnya daya yang terbuang pada *ballast load*. Daya yang terbuang inilah yang nantinya akan dimanfaatkan untuk mengoperasikan vakum evaporator. Teknik kedua melibatkan penggunaan data sekunder yang diperoleh dari produsen vakum evaporator, mencakup informasi mengenai besarnya daya yang digunakan oleh vakum evaporator serta jumlah gula merah yang dihasilkan dalam periode tertentu. Setelah data yang diperlukan diperoleh, akan dilakukan analisis perbandingan antara daya yang digunakan oleh vakum evaporator dengan daya yang terbuang pada *ballast load* saat PLTMH berada dalam kondisi beban rendah.

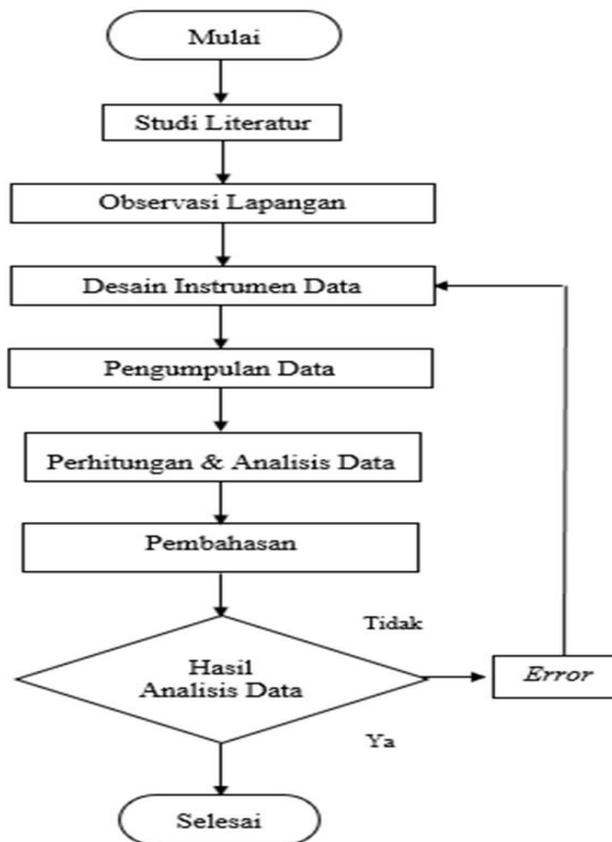
Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan daya yang dibangkitkan oleh PLTMH dalam mendukung industri lokal, sehingga mengurangi pemborosan pada *ballast load*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan performa generator dalam memproduksi energi listrik dan menjaga kestabilan frekuensi generator.

II. METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar tahapan penelitian dapat dilihat pada

Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Teknik Analisis Data

Besar daya terpakai oleh konsumen dan diserap *ballast load* selama satu hari dalam setiap jamnya di analisis secara statistik deskriptif untuk memperoleh nilai rata-ratanya. Analisis ini dilakukan untuk melihat besarnya daya yang terbuang ke *ballast load* ketika tingkat pembebanan pada PLTMH rendah. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan kapasitas mesin vakum evaporator yang akan digunakan untuk menghasilkan gula merah guna meningkatkan efisiensi dari PLTMH.

Data vakum yang digunakan menggunakan data sekunder berdasarkan spesifikasi produsen. Data ini meliputi besar penggunaan daya yang digunakan vakum untuk memproduksi gula merah dengan jumlah volume nira tertentu serta berdasarkan waktu yang tersedia. Data ini nantinya yang akan dibandingkan dengan daya yang terbuang pada *ballast load* setiap jam dalam satu hari. Sehingga didapat hasil berapa banyak jumlah nira yang diproduksi dalam satuan waktu serta satuan daya. Setelah dilakukan analisis terhadap data penggunaan daya oleh mesin vakum. Selanjutnya dilakukan analisis pemanfaatan energi listrik setelah adanya konsumsi energi oleh mesin vakum. Sehingga diperoleh rasio pembebanan

PLTMH pada waktu siang dan malam hari. Analisis ini menghasilkan grafik rata-rata beban setelah penggunaan mesin vakum sebagai pengganti *ballast load*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Profil PLTMH Desa Suka Sama

PLTMH yang beroperasi di Desa Suka Sama memiliki kapasitas 62,5 KVA dengan spesifikasi seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. PLTMH ini digunakan untuk menyuplai daya kepada masyarakat desa sejumlah 86 rumah/kepala keluarga (KK). Adapun profil PLTMH yang sudah terpasang dan beban yang terhubung dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Data Generator PLTMH Suka Sama

No	Spesifikasi Generator	
1	Type	T2W3-225L4-IH
2	Output	62,5 KVA
3	Frekuensi	50 Hz
4	Kecepatan	1500 RPM
5	Jumlah Kutub	4
6	Faktor Daya (Cos Phi)	0,8
7	Fasa	3

Tabel 2. Profil PLTMH dan Profil Konsumen

No	Nama Komponen	Ukuran
1	Head	22 m
2	Debit Air	120 L/detik
3	Total Beban	86 KK
4	Daya Terpasang	45,450 VA
5	Daya ke <i>ballast load</i>	7.500 VA

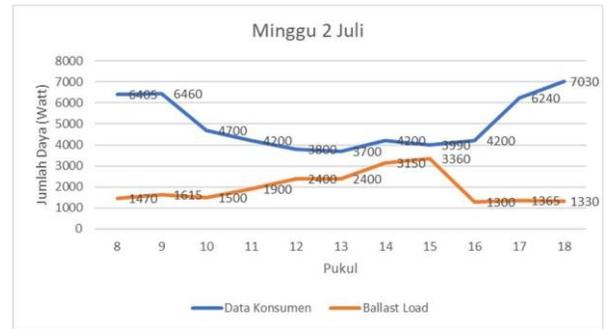
2. Data Daya Keluaran PLTMH dan Pemakaian oleh Beban

Sering terjadi kelebihan daya yang dihasilkan oleh PLTMH. Kelebihan ini kemudian di salurkan ke *Ballast load*. Besarnya daya yang digunakan dan dialihkan ke *ballast load* dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 9.

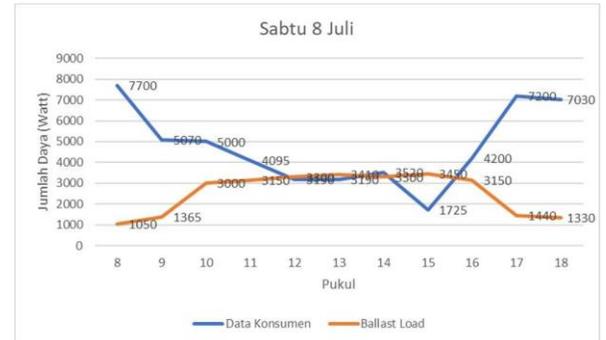


Gambar 2. Grafik daya keluaran PLTMH yang dibagi pada beban rumah tangga dan *ballast load*

Secara spesifik profil penggunaan daya oleh beban rumah tangga dan pengalihandaya ke *ballast load* untuk 7 hari dengan tanggal acak diperlihatkan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 9



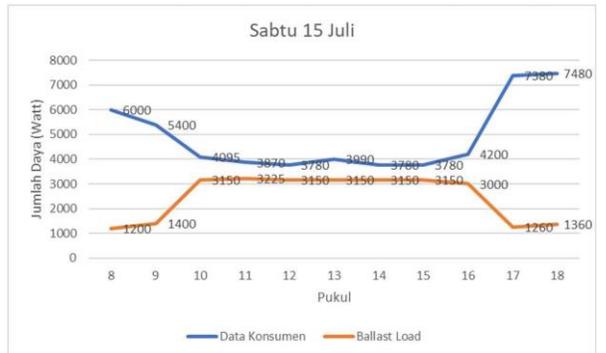
Gambar 3. Grafik pembagian daya dari PLTMH pada tanggal 2 Juli.



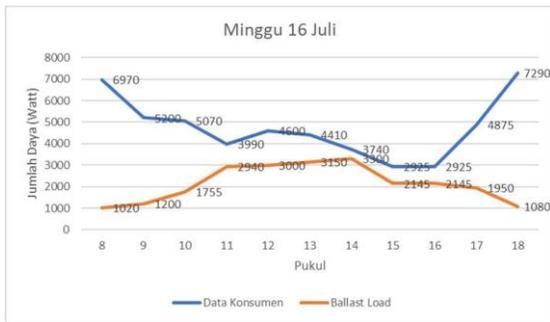
Gambar 4. Grafik pembagian daya dari PLTMH pada tanggal 8 Juli



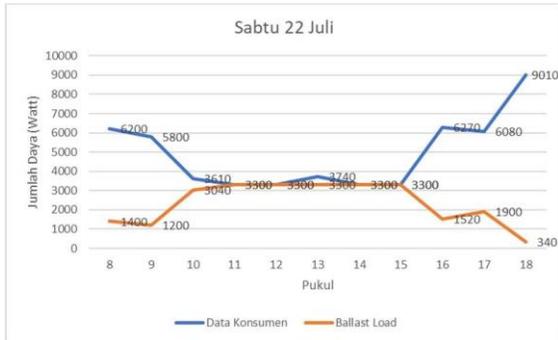
Gambar 5. Grafik pembagian daya dari PLTMH pada tanggal 9 Juli.



Gambar 6. Grafik pembagian daya dari PLTMH pada tanggal 15 Juli



Gambar 7. Grafik pembagian daya dari PLTMH pada tanggal 16 Juli



Gambar 8. Grafik pembagian daya dari PLTMH pada tanggal 22 Juli.



Gambar 9. Grafik pembagian daya dari PLTMH pada tanggal 23 Juli.

3. Analisis Penggunaan Daya PLTMH

PLTMH Suka Sama dibangun untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga di desa tersebut. Sistem penerangan merupakan peralatan listrik dengan jumlah pemakaian daya paling banyak. Karakteristik pemakaian daya listrik dari PLTMH suka sama dapat di lihat pada Gambar 2 hingga Gambar 9. Berdasarkan Gambar tersebut diperoleh dua keadaan. Keadaan yang pertama ketika daya yang tersalurkan pada masyarakat tinggi maka daya yang terbuang pada *ballast load* rendah. Yang kedua yaitu sebaliknya ketika daya yang tersalurkan pada masyarakat rendah maka daya yang terbuang pada *ballast load* akan naik. Besar daya (dalam watt) yang dibangkitkan dapat dihitung dari jumlah daya yang masuk pada konsumen maupun pada *ballast load*. Pada waktu tertentu dapat di lihat bahwa terjadi

perpotongan antara penggunaan daya oleh peralatan listrik masyarakat dan penyaluran daya ke *ballast load*. Seperti pada grafik 8. ketika pukul 11.00 terjadi perpotongan garis diagram antara daya konsumen dan *ballast load* pada daya sebesar 3000 Watt. Kondisi tersebut menandakan daya yang terbuang pada *ballast load* serta daya yang tersalurkan pada masyarakat mendekati hingga sama besar.

4. Penggunaan Vakum sebagai Pengganti *Ballast Load*

Pada penelitian ini telah disusulkan agar daya yang terbuang pada *ballast load* untuk dimanfaatkan guna menghasilkan produk tertentu yaitu Gula Aren [9]. Usulan ini dikarenakan masyarakat rata-rata memiliki pohon nira yang menghasilkan bahan baku pembuat gula aren. Gula aren akan dihasilkan menggunakan teknologi mesin listrik yaitu vakum evaporator. Pada penelitian ini diusulkan mesin evaporator seperti diperlihatkan Gambar 10.



Gambar 10. Vakum Evaporator gula aren(sumber: www.agrowindo.com).

Adapun vakum evaporator yang akan digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe Mesin :EVP-25A growindo
- Kapasitas proses : 25 Liter / Proses
- Dimensi Total : 80x118x129 cm
- Daya/tegangan kerja : 2.000 Watt, 220 V
- Waktu operasi : 4-5 jam per operasi

B. Pembahasan

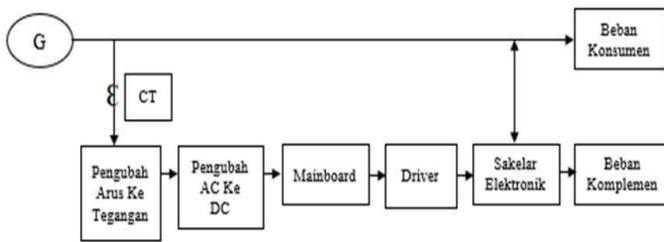
1. Sistem Kerja ELC Dalam Pengaturan Beban

Electronic Load Controller (ELC) merupakan sebuah kontroler yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro dalam upaya mengendalikan frekuensi generator agar stabil dengan cara membuang kelebihan daya yang dibangkitkan menuju *dummy/ballast load*. Pengalihan daya menuju *dummy/ballast load* dilakukan secara elektronik menggunakan komponen *thyristor* yang sudah diatur secara otomatis [5].



Gambar 11. ELC PLTMH Suka Sama.

ELC yang digunakan Pada PLTMH Suka Sama memiliki *rating* frekuensi 45-55 Hz dengan daya 10 kW dan tegangan 230/400 V seperti di tunjukkan pada Gambar 11. ELC yang digunakan PLTMH Suka Sama dilengkapi dengan teknologi *micro controller* d (*digital load controller*) dengan semua parameter sistem diprogram melalui piranti lunak, sehingga tidak diperlukan lagi *setting* manual, pada saat komisioning maupun operasi normal.



Gambar 12. Diagram Blok ELC.

Dari Gambar 12, dapat dilihat daya yang dibangkitkan generator terlebih dahulu masuk pada *current transformer* (CT). Arus yang masuk melewati CT akan diubah menjadi tegangan oleh konverter arus ke tegangan. Tegangan yang telah diubah masuk ke konverter AC ke DC untuk diubah tegangannya menjadi DC. Tegangan tersebut diteruskan menuju *mainboard* yang merupakan otak dari ELC. Pada komponen inilah yang nantinya melakukan perbandingan apakah daya yang dibangkitkan dialirkan sepenuhnya pada beban konsumen ataupun dibagi ke beban komplemen. Dari *mainboard* akan diteruskan menuju sakelar elektronik melalui driver yang melakukan penguatan hasil dari *mainboard*.

Sistem ELC menggunakan sakelar yang bekerja pada arah yakni ketika pembacaan daya yang dibangkitkan besarnya sama ataupun dibawah dari penggunaan daya pada beban konsumen maka sakelar melakukan tindakan daya sepenuhnya akan dialirkan ke beban konsumen namun ketika besar daya yang dibangkitkan melebihi dari penggunaan daya di beban

konsumen maka sakelar akan bertindak membagi daya ke beban komplemen untuk menjaga putaran generator tetap stabil.

Pada PLTMH Suka Sama, ELC bekerja berdasarkan perubahan nilai frekuensi. Rangkaian kontrol akan terus mendeteksi nilai frekuensi listrik yang dihasilkan generatordengan interval 10 ms. Jika terdeteksi nilai frekuensi di bawah 50Hz atau kurang dari batas toleransinya, maka thyristor akan aktif untuk menyalurkan daya ke *ballast load* hingga frekuensi mencapai nilai yang ditetapkan. Thyristor pada alat ini dipicu dan di komutasi berdasarkan sudut penyalan yang sudah ditetapkan. Pada fase ini, frekuensi dijaga pada nilai 50 Hz dengan akurasi $\pm 0,1-0,2$ Hz dengan waktu pemulihan (*recovery time*) sekitar ± 2 detik. Pengendali diatur melalui *dip switches* dengan menggunakan prinsip pengendalian *Proportional Integral* untuk mengatur 3 level kecepatan respon kontrol yaitu lambat, sedang dan, cepat berdasarkan karakteristik PLTMH Suka Sama dan beban.

ELC PLTMH Suka Sama diatur untuk kondisi beban puncak. Dimana daya yang dibangkitkan telah diatur untuk keadaan beban penuh. Ketika dalam kondisi beban rendah maupun beban normal, daya yang berlebih akan dibuang pada *ballast load* untuk mempertahankan frekuensi tetap pada 50Hz [10-12]. Namun pada keadaan di lapangan frekuensi pada PLTMH Suka Sama nilainya bervariasi. Berdasarkan data yang diperoleh dari PLTMH Suka Sama, frekuensi terendah adalah sebesar 48 Hz dan frekuensi tertinggi 55 Hz. Frekuensi sendiri berbanding lurus dengan putaran generator dimana untuk mencapai frekuensi 50 Hz putaran generator PLTMH Suka Sama harus sebesar 1500 rpm. Secara formula:

$$N = \frac{120 \cdot f}{P} \dots\dots\dots(1)$$

dengan

N = Putaran (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

P =Jumlah Kutub (Tabel 1= 4)

Berdasarkan Persamaan 1, frekuensi generator turun menjadi 48 Hz maka putaran generator juga turun mencapai 1440 rpm. Sebaliknya ketika frekuensi naik hingga 55 Hz maka putaran generator juga ikut naik menjadi 1650 rpm. Penurunan kecepatan putaran generator disebabkan oleh dua faktor yaitu terjadinya perubahan beban dan faktor ketersediaan air yang akan menggerakkan turbin [13-14]. Pengaturan ELC PLTMH Suka Sama sudah disetting untuk kondisi beban puncak, sehingga ketika terjadi perubahan beban seharusnya tidak mempengaruhi kecepatan putaran generator. Ketersediaan air sebagai sumber energi mekanik di PLTMH Suka Sama masih terbilang cukup tetapi besarnya tidak tetapyang diakibatkan

oleh pasang surut aliran air akibat perubahan cuaca yang terjadi. Maka dari itu faktor ketersediaan air merupakan faktor yang membuat kecepatan putaran generator di PLTMH Suka Sama naik turun sehingga mengakibatkan nilai frekuensi yang bervariasi.

Perubahan nilai frekuensi listrik dari PLTMH Suka Sama tersebut kemudian dikendalikan oleh ELC mengendalikan sehingga tetap pada kisaran nilai 48 Hz hingga 55 Hz [15-17]. Nilai frekuensi yang bervariasi ini disebabkan oleh karena naik turunnya jumlah debit air yang masuk ke dalam turbin. Debit air dipengaruhi oleh pasang surut air sungai akibat perubahan cuaca yang terjadi di daerah Sibolangit.

2. Potensi Pemanfaatan Daya PLTMH Suka Sama

Pada Tabel 1 akan diperlihatkan potensi daya yang tersedia dari PLTMH Suka Sama. Potensi yang dimaksud adalah waktu dimana daya terbuang melebihi 2.000watt ke *ballast load*.

Tabel 1. Potensi daya PLTMH dan waktu tersedia untuk dimanfaatkan.

No	Tang gal	Potensi	
		Waktu Tersedia (Jam)	Daya Terbuang (W)
1	1 Juli 2023 (Gbr.2)	4	2.869, 2.860,
			3.740, 2.500
2	2 Juli 2023 (Gbr.2)	4	2.400, 2.400,
			3.150, 3.360
3	8 Juli 2023 (Gbr.2)	7	3.000, 3.150,
			3.300, 3.410,
			3.300, 3.450, 2.500
4	9 Juli 2023 (Gbr.2)	4	2.600, 3.000,
			2.730, 3.150
5	15 Juli 2023 (Gbr.2)	7	3.150, 3.255,
			3.150, 3.150,
			3.150, 3.150, 3.000
6	16 Juli 2023 (Gbr.2)	6	2.940, 3.000,
			3.150, 3.300,
			2.145, 3.150
7	22 Juli 2023 (Gbr.2)	7	3.150, 3.255,
			3.150, 3.150,
			3.150, 3.150, 3.000
			2.000, 2.200, 3.000
8	23 Juli 2023 (Gbr.2)	3	2.000, 2.200, 3.000

Sumber: Data hasil pengukuran

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa terdapat waktu 4 hingga 7 jam dimana daya terbuang lebih dari 2.000watt ke *ballast load*. Waktu ini diperoleh dari data pengoperasian PLTMH pada hari Sabtu dan Minggu.

Pada penelitian ini, waktu yang dimanfaatkan hanya pada hari Sabtu dan Minggu. Pemilihan tersebut dikarenakan PLTMH Suka Sama beroperasi pada dua keadaan yakni sebagai berikut:

- Keadaan pertama ketika sedang berlangsung musim menanam padi oleh masyarakat, maka air sungai akan dimanfaatkan untuk irigasi persawahan sehingga suplai debit air ke PLTMH Suka Sama akan berkurang dan tidak dapat beroperasi penuh selama 24 jam sehari. Pada

kondisi ini PLTMH hanya dapat beroperasi secara penuh di Sabtu dan Minggu karena air tidak digunakan untuk irigasi tanaman di kedua hari tersebut.

- Keadaan kedua yaitu ketika waktu panen telah tiba, maka aliran sungai dapat dimanfaatkan secara penuh untuk mengoperasikan PLTMH secara penuh yaitu 24 jam sehari. Pada masa ini, energi terbuang akan semakin banyak ke *ballast load* jika tidak dimanfaatkan.

3. Efisiensi PLTMH dengan Penggunaan Vakum

Mesin vakum evaporator yang akan digunakan membutuhkan daya nyata sebesar 2.000watt untuk sekali memproses 25liter bahan baku nira menjadi gula aren selama 4-5. Jika di lihat dari Gambar 2 sampai dengan Gambar 9 serta sajian data pada Tabel 1, terdapat hari dimana daya terbuang ke *ballast load* lebih dari 2.000watt yaitu 3.000watt khususnya pada hari sabtu dan minggu diantara pukul 10 pagi hingga pukul 5 sore. Data ini memperlihatkan bahwa terdapat waktu beban terbuang lebih dari 2000 watt sebesar 4-7 jam. Pada penelitian ini, waktu tersebut akan dimanfaatkan untuk mengopersaikan vakum guna menghasilkan gula aren untuk 1 kali proses. Penggunaan vakum ini tentunya dapat menjaga nilai frekuensi PLTMH tetap pada 50Hz sekaligus meningkatkan produktifitas masyarakat desa Suka Sama.

Pemanfaatan daya PLTMH Suka sama yang akan direncanakan yaitu dengan memanfaatkan kondisi beban rendah di PLTMH untuk keperluan mengolah air nira menjadi gula merah dengan menggunakan vakum evaporator. Vakum evaporator sendiri bekerja dengan konsumsi daya sebesar 2.000 Watt per 25liter selama 4-6 jam untuk sekali operasi. Dengan 25liter air nira sendiri dapat menghasilkan 2,5 kg hingga 3,5 kg gula merah tergantung daripada kadar air yang terkandung pada nira sendiri. Berdasarkan analisis potensi pemanfaatan pada sub bab 4.3.2 pada nomor 1 hingga nomor 8 menunjukkan adanya rata rata daya yang terbuang selama 4-7 jam dalam sehari sebesar 2.000 W hingga 3.000 W lebih.

Besarnya daya listrik yang terbuang ke *ballast load* akan dapat digunakan menjadi sumber energi listrik vakum evaporator untuk mengolah 25liter air nira menjadi 2,5 kg hingga – 3,5 kg gula merah selama 4-5 jam untuk sekali proses. Pada kondisi tertentu ketika pemanfaatan daya yang dilakukan dengan vakum evaporator kemungkinan akan terjadi kondisi daya yang terbuang tidak mencapai 2.000 W.

Proses pengoperasian vakum evaporator akan tetap dapat berjalan namun hanya saja akan menambah waktu proses dari yang semestinya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terbukti adanya energi terbuang pada ballast load di PLTMH Suka Sama. Energi yang terbuang ini berkisar antara 2.000 W hingga 3.000 W selama 4-7 jam setiap hari. Energi tersebut seharusnya tidak terbuang sia-sia dan dapat dimanfaatkan untuk kegiatan produktif lainnya. Penelitian menunjukkan bahwa vakum

evaporator dengan kapasitas 2.000 W dapat mengolah 25 liter air nira menjadi 2,5 kg hingga 3,5 kg gula merah dalam satu kali proses selama 4-5 jam. Dengan demikian, energi yang sebelumnya terbuang dapat digunakan untuk menghasilkan produk berupa gula merah. Penggunaan vakum evaporator tidak hanya membantu mengurangi pemborosan energi, tetapi juga meningkatkan produktivitas masyarakat lokal di Desa Ketangkuhan. Industri gula merah yang sebelumnya bergantung pada kayu bakar yang tidak efisien, kini dapat menggunakan listrik yang terbuang, sehingga lebih hemat biaya dan waktu. Teknologi vakum evaporator memastikan kualitas gula merah yang lebih baik dibandingkan dengan metode tradisional. Dengan pengaturan suhu yang tepat dan kondisi vakum, proses penguapan air nira menjadi lebih efisien dan menghasilkan gula merah berkualitas tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa energi terbuang pada PLTMH Suka Sama dapat dimanfaatkan secara efisien untuk meningkatkan produksi gula merah, mengurangi pemborosan energi, dan memberikan manfaat ekonomi serta lingkungan bagi masyarakat setempat.

REFERENSI

- [1] Rahmawan, I., 2024. Analisa kinerja Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Air (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP).
- [2] Rimbawati, R., Cholish, C., Saputro, E. and Harahap, P., 2021. Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 3(2), pp.62-70.
- [3] Faisal, F., Djalal, M.R. and Ali, M., 2024. Penerapan SMES untuk Load Frequency Control pada PLTMH Menggunakan Ant Colony Optimization. Jurnal FORTECH, 5(1), pp.1-9.
- [4] Kinanda, O. and Krismadinata, K., 2022. Rancang Bangun Electronic Load Controller Menggunakan Konverter Buck pada Generator Induksi 3 Fasa. MSI Transaction on Education, 3(3), pp.127-140.
- [5] Utomo, T., Ardhenta, L. and Tamimi, R.Y.A., 2021. Rancang Bangun ELC (Electronic Load Controller) sebagai Pengendali Beban PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) Kali Jari. Jurnal EECCIS (Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems), 15(2), pp.36-42.
- [6] Ofosu, R.A., Normanyo, E., Kaberere, K.K., Kamau, S.I. and Otu, E.K., 2022. Design of an electronic load controller for micro hydro power plant using Fuzzy-PI controller. Cogent Engineering, 9(1), p.2057115.
- [7] Argo, B.D., Oktavian, R., Putranto, A.W., Lestari, A., Ramadhan, F. and Wihandika, R.C., 2020. Transfer Teknologi Multi Effect Evaporator (MME) pada UKM Gula Merah di Desa Sumber Agung Kediri. WIDYA LAKSANA, 9(2), pp.164-175.
- [8] Melly, S., Hadiguna, R.A., Santosa, S. and Nofialdi, N., 2019. Manajemen Risiko rantai pasok agroindustri gula merah tebu di Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 8(2), pp.133-144.
- [9] Sawidin, S.K., Putung, Y.R., Waroh, A.P. and Marsela, T., 2023. Rancang Bangun Kontrol Pengolahan Gula Aren Dengan Programmable Logic Controller. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(2), pp.179-184.
- [10] Sofyan, S., Naim, K. and Basri, M.A., 2022. Rancang Bangun Electronic Load Control Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Mikrokontroler dan IoT. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 19(1), pp.23-29.
- [11] Hanra, N., 2020. Rancang Bangun Sistem Electronic Load Controller (Elc) Dengan Metode Fuzzy Mamdani (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta).
- [12] Raja, F.S.W., Pakaya, I. and Zulfatman, Z., 2024, March. Frequency control of micro hydro power plant based electronic load controller using fuzzy-PI controller. In *AIP Conference Proceedings (Vol. 2927, No. 1)*. AIP Publishing.
- [13] Mohammad, Y. and Yusuf, T.I., 2023. Analisis Keandalan Jaringan Distribusi 20kV Pada ULP Toili Berdasarkan SAIDI dan SAIFI. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(2), pp.197-203.
- [14] Akbar, F. and Wrahatnolo, T., 2023. Dampak Gangguan Beban Lebih Terhadap Overload Shedding Gardu Induk 150kV Sukolilo Surabaya. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(2), pp.157-163.
- [15] Surusa, F., Aini, Q., Pratiwi, A.I. and Mohamad, Y., 2024. Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 6(1), pp.32-38.
- [16] Amali, L.M.K., Mohamad, Y., Tolago, A.I., Elysiantobuo, N. and Dako, A.Y., 2024. Analisis Konsumsi Energi Listrik Menggunakan Metode Internsitas Konsumsi Energi. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 6(1), pp.103-107.
- [17] Sinaga, D.H. and Hutajulu, O.Y., 2021. Penggunaan dan Pengaturan Motor Listrik.