
MONITORING KINERJA WADUK TERHADAP PRODUKTIFITAS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Muh. Mukhsim^{1*)}, Fachrudin¹⁾

¹⁾ Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Data Artikel:</p> <p>Naskah masuk, 10 Juli 2023 Direvisi, 21 Juli 2023 Diterima, 24 Juli 2023</p> <p>*Email Korespondensi: muhsim@widyagama.ac.id</p>	<p>PLTA Sengguruh dibawah PT Pembangkitan Jawa Bali menjadi salah satu pembangkit listrik di wilayah malang selatan. Menyupply energi listrik pada tegangan 70 kV. Supply utama PLTA sengguruh adalah waduk sengguruh yang merupakan waduk harian bertipe run of river. Dengan penurunan kapasitas tampungan waduk serta fluktuasi inflow yang masuk membuat pengaturan pola operasi selama ini yang dijalankan belum bisa optimal. Hal itu terlihat pada kontinuitas pengoperasian yang masih belum ideal. Masalah yang dihadapi adalah belum adanya monitoring kinerja waduk berupa inflow. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat prototype aplikasi yang dapat memonitoring inflow dengan menggunakan persamaan kontinuitas. Melalui persamaan kontinuitas inflow waduk dapat diketahui melalui perubahan tampungan waduk dan keluaran waduk. Hasil dari penelitian ini adalah prototype aplikasi memonitoring inflow berdasarkan perubahan elevasi. Prototype aplikasi ini memiliki 3 fitur utama yaitu menghitung inflow , merekomendasikan pola pemebanan dan waktu operasi. Melalui perhitungan aplikasi ini PLTA sengguruh mampu meningkatkan kontinuitas dan produktivitas kinerjanya meningkat 5.74% dibulan januari hingga juni 2020.</p> <p>Kata Kunci : Aplikasi, Waduk, Produktifitas, PLTA.</p>

1. PENDAHULUAN

PLTA merupakan salah satu pembangkit tenaga listrik. dengan memanfaatkan tenaga potensial yang terkandung dalam air. Jumlah daya yang dapat dibangkitkan tergantung pada besarnya debit dan ketinggian (head) yang tersedia[1]. Debit inflow merupakan aliran air yang masuk kedalam waduk. yang akan di konversi menjadi energi. Besar kecilnya inflow akan menentukan pada pola pengoperasian PLTA. Menurut Dyah Ari Wulandar dalam penelitiannya, pemantauan inflow yang efektif akan mengoptimalkan kinerja PLTA[2].

PLTA sengguruh merupakan PLTA yang terletak di desa sengguruh kabupaten malang dikelola oleh PT PJB UP Brantas. Dengan kapasitas 2x14,5 MW PLTA sengguruh mampu memberikan energi listrik di kabupaten malang yang beroperasi pada jaringan 70 kV. Waduk sengguruh merupakan waduk harian dengan tipe run of river. Berbeda dengan waduk tahunan waduk type ini memerlukan control yang baik terhadap kinerja waduk terutama inflow air yang masuk ke waduk. Inflow akan secara langsung mempengaruhi ketinggian elevasi waduk. Ketiadaan sistem monitoring yang baik akan berdampak pada kurang optimalnya pemakaian air yang berdampak pula pada kontinuitas produksi PLTA.

Pada Penelitian yang sudah dilakukan oleh Nadia Adi Kurniawan cs, yang telah memodelkan PLTA Sengguruh, Data input yang digunakan adalah inflow dan output berupa elevasi dan KWh[3], Namun hasil yang didapat adalah sebuah model yang berbeda dengan data

eksisting. Yang selanjutnya data tersebut dibuatkan faktor pengali yang diharapkan hasilnya mendekati data eksisting.

Pada penelitian ini penulis ingin membuat sebuah prototype aplikasi berbasis android untuk mengetahui kinerja waduk berupa inflow secara realtime dan tepat melalui perubahan elevasi. Metode yang digunakan adalah metode pendekatan kuantitatif menggunakan persamaan kontinuitas. Dengan menggunakan persamaan kontinuitas dapat mengetahui nilai inflow secara efektif berdasarkan outflow dan perubahan kapasitas tampungan suatu waduk. Data inflow tersebut akan digunakan untuk menentukan pola operasi yang sesuai melalui simulasi pembebanan pembangkit[4], yang nantinya diharapkan mampu meningkatkan kontinuitas produksi PLTA.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pendekatan kuantitatif dengan mengumpulkan data operasi harian dan laporan perusahaan PLTA Sengguruh. Dari data tersebut akan dilakukan perhitungan *inflow* air secara manual menggunakan persamaan kontinuitas. Hal itu dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara data aktual dengan metode penelitian ini.

Selanjutnya akan dibuat sebuah aplikasi yang mampu mengimplemtasikan metode tersebut guna mendapat hasil yang diharapkan berupa aplikasi system monitoring masukan waduk (*inflow*) juga mampu memberikan rekomendasi pembebanan untuk mendapat kontinuitas pengoperasian PLTA. Dalam pembuatannya di gunakan software *mit APP Inventor* dalam proses membangun aplikasinya.

a. Pengumpulan data

Data yang akan diproses di aplikasi yaitu seperti pada tabel 1 dan tabel 2 berikut:

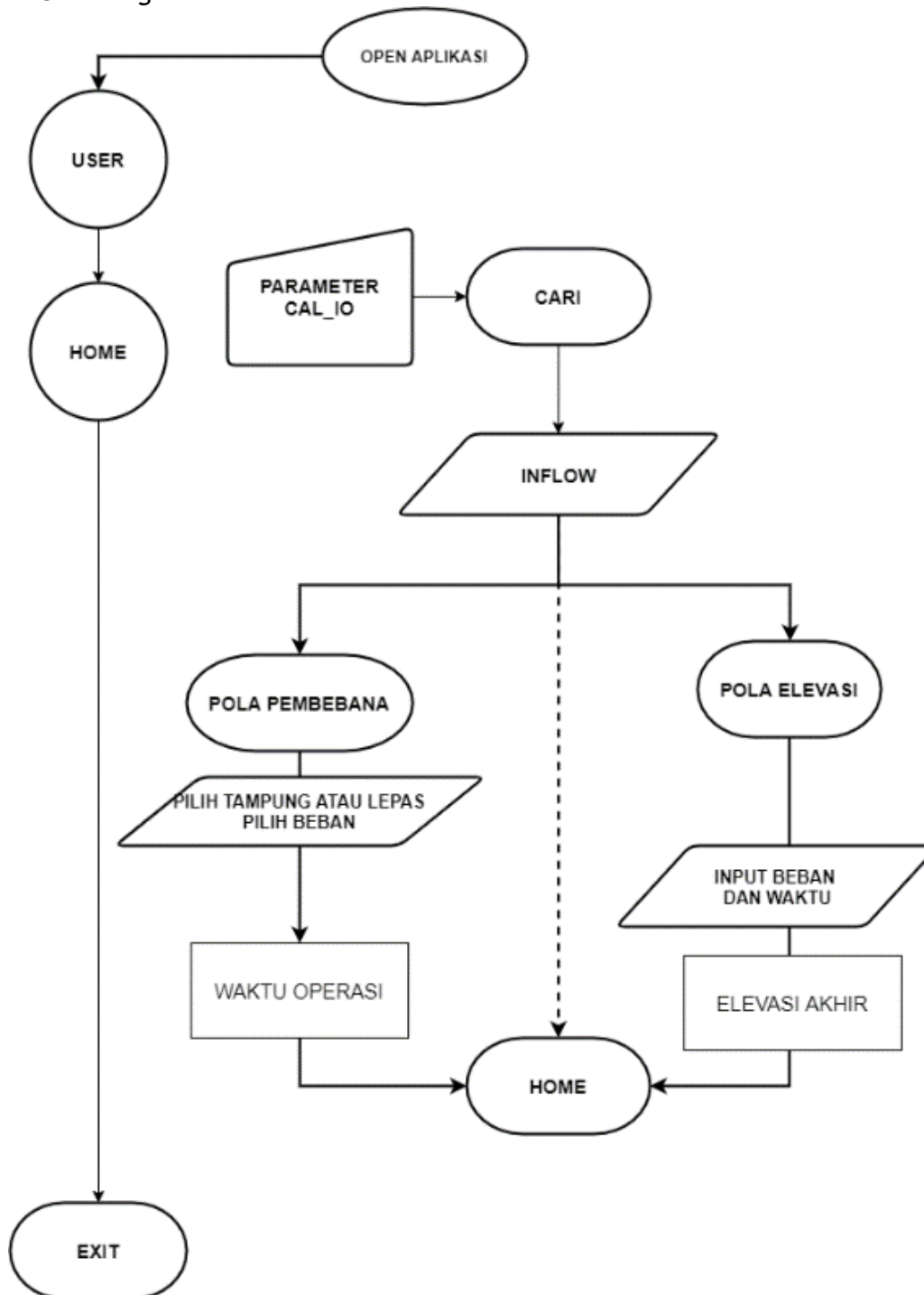
Tabel 1. Pengumpulan Data Analisis *Inflow* harian

BEBAN (MW)	DATA ELEVASI (mdpl)			INFLOW	OUTFLOW	SPILLWAY
	Elevasi Sebelum	Elevasi Saat ini	Tailrace	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s

Tabel 2. Pengumpulan Data Analisis kinerja Bulanan

TANGGAL	ELEVASI	INFLOW	LOAD	WAKTU

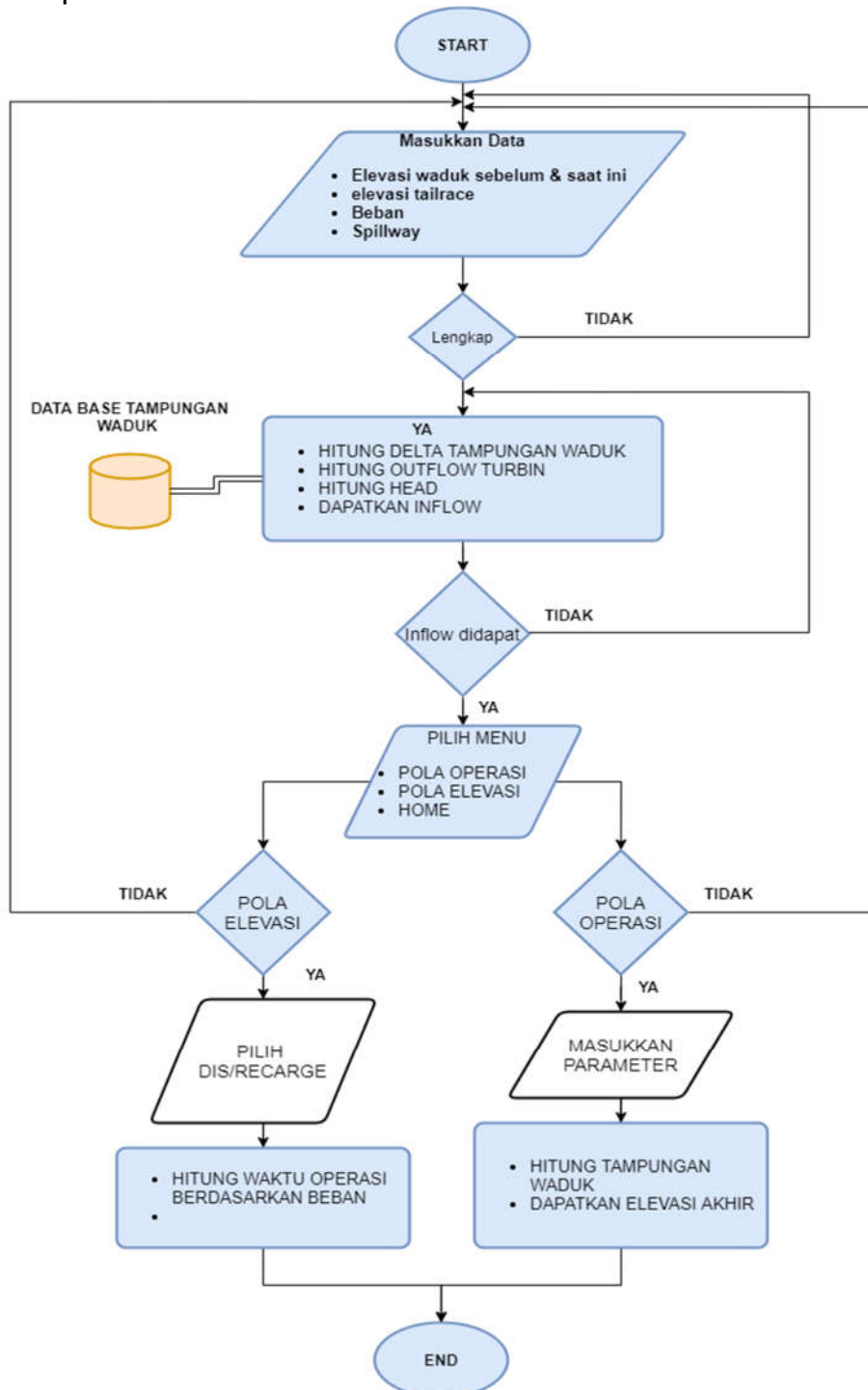
b. User Case Diagram



Gambar 1 User Case Diagram Aplikasi

Gambar 1 memaparkan tentang penggunaan aplikasi secara optional oleh user. User akan dengan mudah memahami penggunaan aplikasi ini melalui User cas diagram tersebut

c. Flowchart Aplikasi



Gambar 2. Flowchart Aplikasi

Gambar 2 alur kerja dari aplikasi yang di buat. Tabel 1 dan table 2 merupakan inputan yang akan menghasilkan nilai berupa inflow, outflow dan jam operasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan untuk pengujian aplikasi ini meliputi data operasi harian dan laporan perusahaan yang dibuat setiap akhir bulan. Data tersebut akan digunakan juga dalam proses perhitungan dan dimasukkan kedalam aplikasi untuk mengetahui kesesuaian hasil perhitungan dengan hasil dari aplikasi.

Tabel 3 Data Operasi Harian PLTA Sengguruh

JAM	BEBAN (MW)		MW	DATA ELEVASI (mdpl)			SPILLWAY m ³ /s
	Unit 1	Unit 2		Elevasi Sebelum	Elevasi Saat ini	Tailrace	
00:00	0	0	0		292.84	264.80	76.83
01:00	0	0	0	292.84	292.89	264.80	76.92
02:00	0	0	0	292.89	292.77	264.80	113.9
03:00	10	10	20	292.77	292.56	266.90	46.47
04:00	10	10	20	292.56	292.54	266.90	
05:00	9	9	18	292.54	292.49	266.90	
06:00	9	9	18	292.49	292.39	266.90	
07:00	9	9	18	292.39	292.27	266.90	
08:00	9	9	18	292.27	292.08	266.90	
09:00	9	9	18	292.08	291.89	266.90	
10:00	9	9	18	291.89	291.60	266.90	
11:00	0	0	0	291.60	292.08	264.80	
12:00	0	0	0	292.08	292.34	264.80	

Dari table data pencatatan harian operasi diatas akan dilakukan perhitungan nilai inflow dan outflow sesuai parameter yang ada. Kemudian akan dibandingkan hasil pencatatan dan perhitungan untuk selanjutnya dilakukan analisa terhadap hasil tersebut.

Perhitungan Inflow menggunakan parameter 1 (data jam 03:00) :

Elevasi sebelumnya = 292.77 mdpl

Memiliki nilai tampungan sebesar $V1 = 1583170.399 \text{ m}^3$

Elevasi saat ini = 292.56 mdpl

Memiliki nilai tampungan sebesar $V2 = 1355020.019 \text{ m}^3$

Elevasi Tailrace = 266.90 mdpl

Beban $U1 = 10 \text{ MW} = 10 \times 10^6 \text{ Watt}$

Beban $U2 = 10 \text{ MW} = 10 \times 10^6 \text{ Watt}$

Spillway = 46.47 m³/s

η turbin 0.938

η Generator 0.97

- Menghitung Head efektif

Head= Elevasi waduk - Elevasi Tailrace - Head loss

$$\text{Head} = 292.56 - 266.90 - 0.08$$

$$\text{Head} = 25.58 \text{ m}$$

- Menghitung Debit outflow

Menghitung debit total dilakukan dengan menghitung total lepasan turbin unit 1 dan unit 2. Berikut perhitungannya.

Menghitung outflow turbin Unit 1 (QU1)

$$Q_{U1} = \frac{P}{9.8 \times H \times \eta \text{ turbin} \times \eta \text{ generator}}$$

$$Q_{U1} = \frac{10000000}{9.8 \times 1000 \times 25.58 \times 0.938 \times 0.97}$$

$$Q_{U1} = 44.22 \text{ m}^3/\text{s}$$

Menghitung outflow turbin Unit 2 (QU2)

$$Q_{U2} = \frac{P}{9.8 \times H \times \eta \text{ turbin} \times \eta \text{ generator}}$$

$$Q_{U2} = \frac{10000000}{9.8 \times 1000 \times 25.58 \times 0.938 \times 0.97}$$

$$Q_{U2} = 44.22 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sehingga Q total unit 1 dan 2 bisa didapatkan melalui penjumlahan outflow keduanya:

$$Q_t = Q_{U1} + Q_{U2} = 44.22 + 44.22 = 88.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Menghitung Debit Inflow

$$I = \frac{(d_s)}{d_t} + Q_t + S_p$$

$$I = \frac{(V_2 - V_1)}{d_t} + Q_t + S_p$$

$$I = \frac{(1355020.019 - 1583170.399)}{3600} + 88.44 + 46.47$$

$$I = \frac{-228150.38}{3600} + 134.91$$

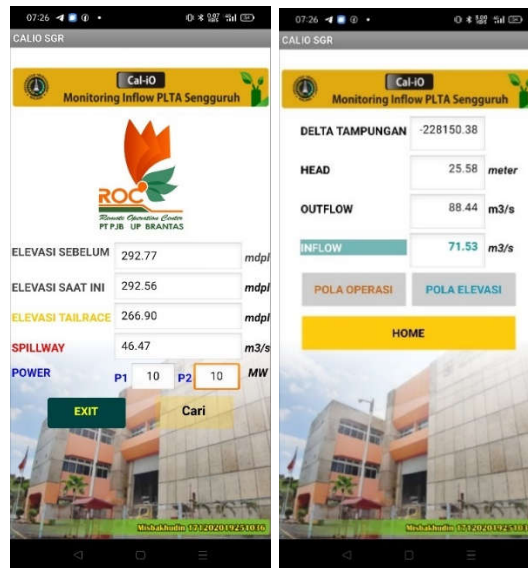
$$I = -63.375 + 134.91$$

$$I = 71.53 \text{ m}^3/\text{s}$$

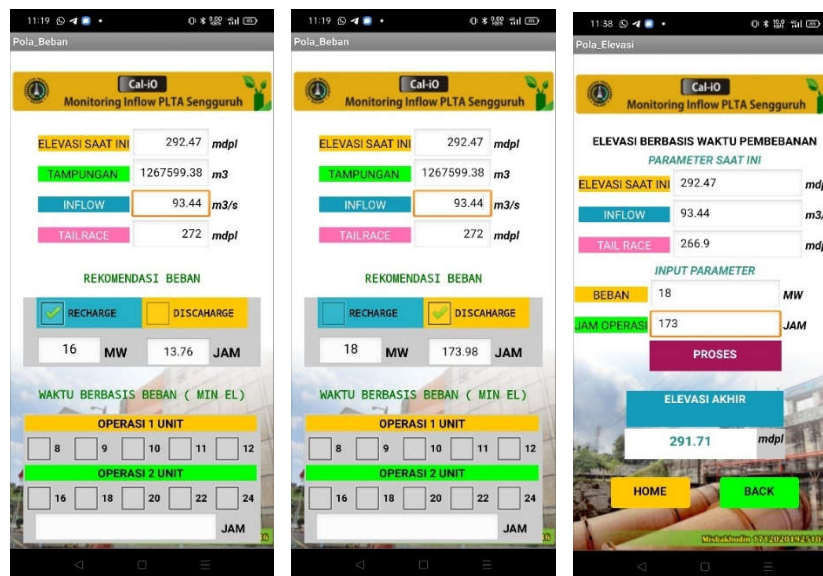
Dari hasil perhitungan didapatkan nilai Inflow yang masuk ke bendungan sebesar 71.53 m³/s.

Dari Hasil perhitungan Inflow akan dibuat acuan untuk masukkan kedalam aplikasi yang dibuat dan berupa perhitungan inflow, pola pembebanan, waktu operasi dan juga prediksi

elevasi akhir. Seluruh data akan dibandingkan kesesuaian antara hasil perhitungan dan hasil dari aplikasi.



Gambar 3. Hasil Perhitungan inflow di Aplikasi

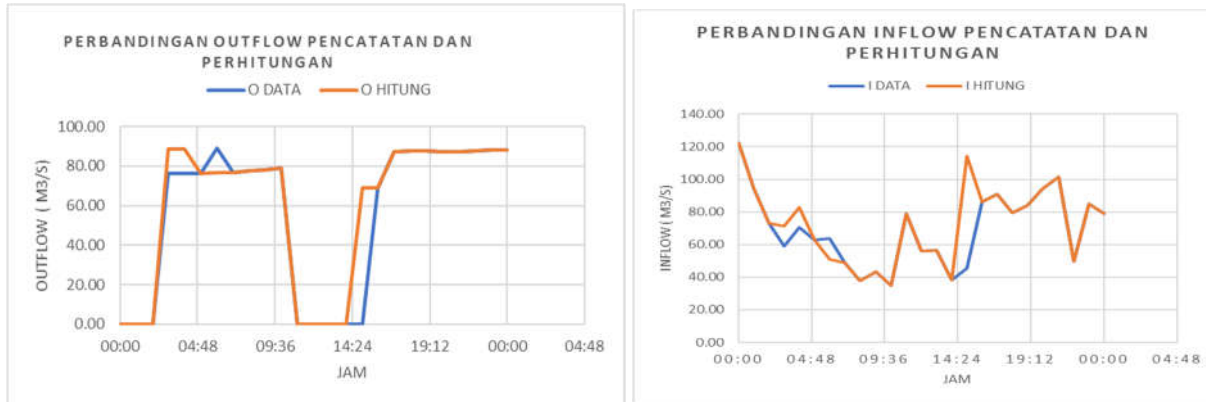


Gambar 4. Hasil Perhitungan Beban, Waktu Operasi dan elevasi

Tabel 4 Hasil perhitungan *inflow* dan *outflow*

JAM	MW	DATA ELEVASI (mdpl)			I DATA	I HITUNG	O DATA	O HITUNG	SPILLWAY
		Sebelum	Saat ini	Tailrace	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
00:00	0		292.84	264.8	122.47	122.47	0	0	76.83
01:00	0	292.84	292.89	264.8	94.4	94.4	0	0	76.92
02:00	0	292.89	292.77	264.8	73	73	0	0	113.9
03:00	20	292.77	292.56	266.9	59.17	71.53	76.08	88.44	46.47
04:00	20	292.56	292.54	266.9	70.6	82.97	76.14	88.51	0
05:00	18	292.54	292.49	266.9	62.8	62.8	76.29	76.29	0
06:00	18	292.49	292.39	266.9	63.51	51.06	89.03	76.59	0
07:00	18	292.39	292.27	266.9	48.72	48.72	76.95	76.95	0
08:00	18	292.27	292.08	266.9	37.66	37.66	77.53	77.53	0
09:00	18	292.08	291.89	266.9	43.49	43.49	78.12	78.12	0
10:00	18	291.89	291.6	266.9	34.74	34.74	79.04	79.04	0
11:00	0	291.6	292.08	264.8	78.94	78.94	0	0	0
12:00	0	292.08	292.34	264.8	56.04	56.04	0	0	0
13:00	0	292.34	292.56	264.8	56.62	56.62	0	0	0
14:00	0	292.56	292.69	264.8	38.06	38.06	0	0	0
15:00	16	292.69	292.83	266.7	45.31	114.19	0	68.88	0
16:00	16	292.83	292.88	266.7	86.11	86.11	68.75	68.75	0
17:00	20	292.88	292.89	266.9	90.86	90.86	87.31	87.31	0
18:00	20	292.89	292.84	266.9	79.56	79.56	87.48	87.48	9.56
19:00	20	292.84	292.83	266.9	84.1	84.1	87.52	87.52	0
20:00	20	292.83	292.85	266.9	94.31	94.31	87.45	87.45	0
21:00	20	292.85	292.89	266.9	101.35	101.35	87.31	87.31	0
22:00	20	292.89	292.72	266.9	49.9	49.9	87.89	87.89	18.9
23:00	20	292.72	292.71	267	85.14	85.14	88.27	88.27	0
24:00	20	292.71	292.68	267	79.12	79.12	88.37	88.37	0

Berdasarkan Tabel 4 diatas merupakan hasil perhitunga yang telah dilakukan dalam penelitian ini. terdapat beberapa perbedaan antara data hasil perhitungan dan aplikasi yang digambarkan pada grafik.

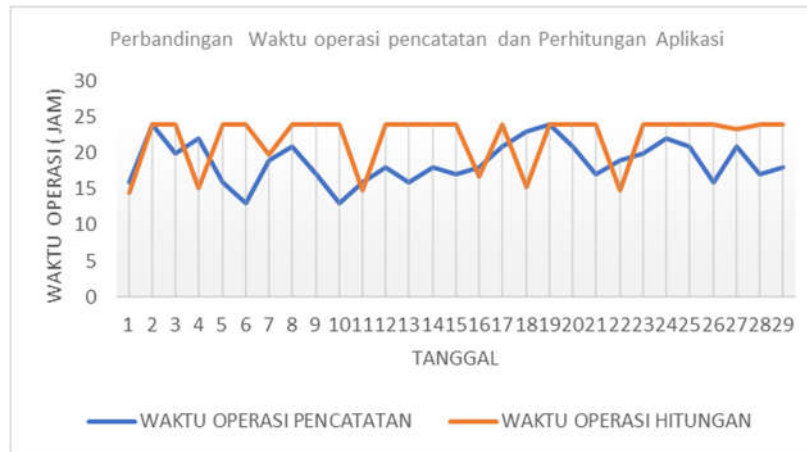


Gambar 5. perbandingan hasil perhitungan dan pencatatan

Tabel 5 hasil Perhitungan Waktu Operasi

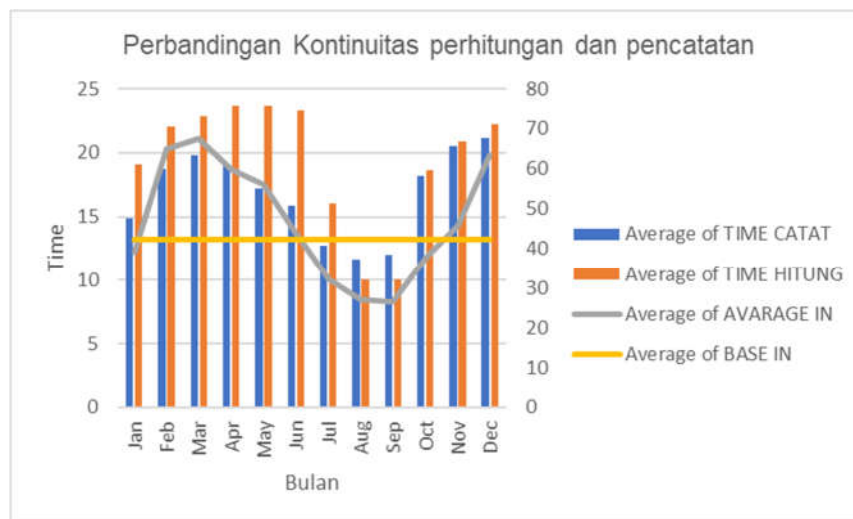
TANGGAL	ELEVASI RATA	INFLOW RATA	LOAD RATA	LOAD HITUNG	T CATAT	T HITUNG
1	292.61	70.62	13.5	16	16	14
2	292.61	93.44	17.8	18	24	24
3	292.68	75.1	14.3	16	20	24
4	292.55	70.17	13.4	16	22	15
5	292.39	36.44	7.0	8	16	24
6	292.47	44.28	8.5	9	13	24
7	292.57	74.76	14.3	16	19	20
8	292.40	42.86	8.2	9	21	24
9	292.52	37.76	7.2	8	17	24
10	292.50	55.26	10.6	11	13	24
11	292.34	73.93	14.1	16	16	15
12	292.50	45.72	8.7	9	18	24
13	292.43	37.39	7.1	8	16	24
14	292.49	40.78	7.8	8	18	24
15	292.47	60.91	11.6	12	17	24
16	292.43	71.38	13.6	12	18	17
17	292.32	55.98	10.7	10	21	24
18	292.55	72.4	13.8	16	23	15
19	292.70	81.73	15.6	16	24	24
20	292.37	52.74	10.1	11	21	24
21	292.62	59.03	11.3	12	17	24
22	292.56	70.13	13.4	16	19	15
23	292.58	53.46	10.2	11	20	24
24	292.52	64.93	12.4	12	22	24
25	292.45	53.42	10.2	11	21	24
26	292.49	83.09	15.9	16	16	24

TANGGAL	ELEVASI RATA	INFLOW RATA	LOAD RATA	LOAD HITUNG	T CATAT	T HITUNG
27	292.57	86.59	16.5	18	21	23
28	292.64	123.47	23.6	24	17	24
29	292.64	93.29	17.8	18	18	24



Gambar 6. Perbandingan waktu operasi

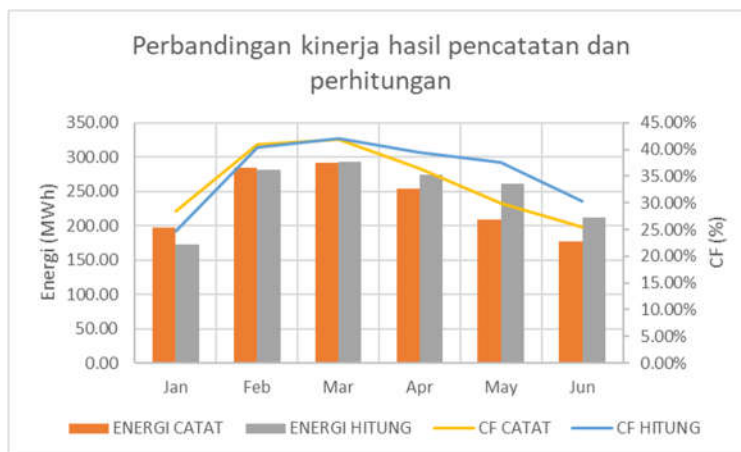
Selanjutnya dilakukan perhitungan kontinuitas operasi dan kinerja selama tahun 2020 melalui data laporan perusahaan dan dibandingkan hasilnya dengan hasil pencatatan.



Gambar 7. Perbandingan kontinuitas produksi PLTA Sengguruh 2020

Tabel 6 kinerja PLTA hasil perhitungan dan pencatatan

Bulan	INFLOW RATA	ENERGI CATAT	ENERGI HITUNG	CF CATAT	CF HITUNG
Jan	39.20	197.62	172.54	28.39%	24.79%
Feb	64.86	285.08	281.80	40.96%	40.49%
Mar	67.53	291.85	293.00	41.93%	42.10%
Apr	59.80	254.44	274.81	36.56%	39.48%
May	56.18	208.37	261.94	29.94%	37.63%
Jun	44.14	176.87	211.33	25.41%	30.36%



Gambar 8. Perbandingan kinerja produksi PLTA Sengguruh januari-juni 2020

3.2 Analisa Hasil

Pada tabel 4 ditemukan beberapa perbedaan hasil pada beberapa waktu perhitungan. Khususnya terjadi pada awal unit beroperasi. Ditemukan persentase error sebesar 20%. Perbedaan hasil tersebut didapatkan akibat perbedaan periode pengukuran. Pada data LHO tercatat unit 1 paralel pukul 02:02 dan unit 2 paralel pada pukul 02:06 artinya terdapat selisih dari periode operasinya. Hal itu mengakibatkan perbedaan hasil pengukuran outflow. Dengan perbedaan keluaran akan berdampak pada perhitungan inflownya.

kontinuitas operasi meningkat bila dibandingkan dengan data pencatatan. Pada tabel 5 persentase kontinuitas untuk pencatatan sebesar 6% dari total hari pada 1bulan data pencatatan. Sedangkan untuk kontinuitas hasil perhitungan bernilai 72% dari jumlah hari yang tersedia. Hal itu tidak lepas dari pemilihan pola pembebanan yang tepat.

- Pada tabel 6 dapat dilihat hasil produksi energi listrik meningkat mulai januari dan mendapat puncaknya di bulan maret. Produksi rata yang dihasilkan terbesar 293 MWh dan nilai terkecil di bulan januari dengan 172.54 MWh. CF produksi meningkat pesat dibulan maret. Nilai CF pencatatan dibulan maret sebesar 41.93 % sedangkan

perhitungan 42.10 %. Nilai CF pencatatan lebih baik di januari sedangkan CF hitung meningkat dan lebih baik dari february hingga juni. berdasarkan nilai keseluruhan CF produksi meningkat 5.74 % dari data pencatatan.

4. KESIMPULAN

Setelah melewati tahap perancangan, pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Prototype aplikasi monitoring kinerja waduk ini dapat menghitung inflow waduk secara real time melalui perubahan elevasi.
- Prototype aplikasi monitoring waduk memiliki 3 fitur yaitu mencari inflow, menentukan rekomendasi pola pembebanan dan waktu Operasi Pembangkit, serta memprediksi elevasi akhir.
- Implementasi Prototype aplikasi monitoring waduk saat ini memiliki batasan sebagai berikut:
 - Perhitungan Inflow khusus di PLTA Sengguruh
 - Range Elevasi di 292.90 - 291.70 mdpl
 - Range Beban di 8 MW - 12 MW
- Hasil perhitungan kontinuitas operasi meningkat di bulan januari hingga juni. Pada bulan agustus dan september mendapat nilai kontinuitas rata terkecil yaitu 10 jam waktu berbeban dengan inflow rata 26.49 m³/s dan 27.12 m³/s. sedangkan bulan April mendapat kontinuitas rata terbaik dengan 23.65 jam dengan inflow rata 59.80 m³/s.
- Hasil produksi energi listrik meningkat mulai januari dan mendapat puncaknya di bulan maret. CF produksi juga meningkat. Nilai CF pencatatan di bulan maret sebesar 41.93 % sedangkan perhitungan 42.10 %. Nilai CF pencatatan lebih baik di januari sedangkan CF hitung meningkat dan lebih baik dari february hingga juni

Saran

Saran yang dapat dikemukakan berkaitan dengan hasil keseluruhan analisis adalah sebagai berikut :

- Penelitian selanjutnya bisa menabahkan sensor elevasi sehingga monitoring inflow memiliki data yang real time.
- Pengoptimalan data realtime akan lebih meningkatkan potensi peningkatan produktifitas kinerja PLTA.
- Dapat menggunakan data base yang berbasis cloud agar keamanan datanya lebih terjamin

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penyampaian ucapan terima kasih kepada Pimpinan Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Elektro yang selalu memberikan semangat dan dana dalam pelaksanaan Penelitian ini,

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonymous, "Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA)," InsinyurElektro, 15-Nov-2017.
- [2] D. A. Wulandari, H. Budienny, dan D. Kurniani, "Keakuratan Prediksi Inflow Waduk Dengan Neraca Air Waduk," Teknik, vol. 37, no. 2, hlm. 94-97, 2016.

- [3] N. Adikurniawan, D. Rohi, dan H. H. Tumbelaka, “Analisa Pemodelan PLTA Sengguruh dengan Matlab Simulink,” J. Tek. Elektro, vol. 10, no. 1, hlm. 24-29, 2018.
- [4] C. S. Samosir, W. oetopo, dan E. Yuliani, “Optimasi Pola Operasi Waduk Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air (Studi Kasus Waduk Wonogiri),” vol. 6, hlm. 108-115, Mei 2015.
- [5] L. Lukas, D. Rohi, dan H. H. Tumbelaka, “Studi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas,” J. Tek. Elektro, vol. 10, no. 1, hlm. 17-23, 2018.
- [6] J. Jamludin, “Analisa Daya Listrik Optimum Model Screw Turbine 2 Blade Sebagai Penggerak Generator Listrik,” J. Tek., vol. 7, no. 2, 2019.
- [7] S. Susilowati dan Hastiningrum, “Prediksi Inflow Waduk Berdasarkan Outflow Menggunakan Persamaan Kontinuitas,” teknik, Jul 2015.
- [8] McMahon, T.A. McMahon, and G.M. Russel “Reservoir Capacity And Yield” Amsterdam:Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.
- [9] Prof. Dari. T. Yuniarsih, Manajemen Sumber Daya Manusia. 2009.
- [10] Anonymous, “PROTAP DKIKP.” PT. PLN (PERSERO), Jun-2017.
- [11] F. N. Habibi, S. Setiawidayat, and M. Mukhsim, “Alat Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Android Menggunakan Modul PZEM-004T,” p. 8.
- [12] Y. Efendi, “Rancangan Aplikasi Game Edukasi Berbasis Mobile Menggunakan App Inventor,” vol. 2, Apr 2018.

=== Halaman Sengaja di Kosongkan ===