

**Optimasi Penjadwalan unit pembangkitan pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA)
Ir. H. Djuanda menggunakan *Linear Programming***

Indean Gandi Al-Zhabit¹, Firilia Filiana², Happy Aprillia³

¹ Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan (ITK),
Jl. Soekarno Hatta KM. 15 Karang Joang, Balikpapan 76127, Indonesia

Email : indeangandialzhabit@gmail.com

Abstract

Hydroelectric power plant (PLTA) is a generator that utilizes the flow of water discharge and the height of the water fall to produce electrical energy, but the results of this electrical energy also depend on the water available in reservoirs or dams and the demand for downstream water needs. In optimizing the availability of water that is accommodated by the dam (reservoir) and utilizing the water needed downstream, a power plant must be able to operate generating units that work to produce optimal electrical power so that the costs incurred are more economical and efficient, and are expected to optimize the units. How many generating units are in a hydroelectric power plant (PLTA). At PLTA Ir. H. Djuanda there are 6 generator units to produce 187.5MW of electrical energy. PLTA Ir. H. Juanda. The problems that exist in hydropower Ir. H. Djuanda found that the generated electricity production is still not optimal because the 6 units of the generator are all in working condition. Therefore, this study presents a solution to problems regarding the effect of water discharge, water level and water fall height as well as scheduling the generation unit at a hydroelectric power plant (PLTA) for the medium term (6 months) using the method Linear Programming (LP) with the help of software analysis. The results of the optimization analysis scheduling of generating unit and total electricity load using the method Linear Programming by comparing the real data in hydropower Ir. H. Djuanda got the average value of difference and error in January of 1.74 and 3.17%, in February of 3.9 and 6.6%, March 4.8 and 7%, April 43.0 and 26.33%, in May 50.5 and 32.8%, in June 2.1 and 1.84%.

Keywords: Water discharge, scheduling, linear programming (LP)

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan pembangkit yang memanfaatkan aliran debit air dan tinggi jatuh air untuk menghasilkan sebuah energi listrik, namun hasil dari energi listrik tersebut juga tergantung oleh air yang tersedia di waduk atau bendungan serta permintaan kebutuhan air di hilir. Dalam mengoptimalkan ketersediaan air yang ditampung oleh bendungan (*reservoir*) serta memanfaatkan air yang dibutuhkan di hilir, suatu pembangkitan harus bisa mengoperasikan unit-unit pembangkit yang bekerja untuk menghasilkan daya listrik yang optimal agar biaya yang dikeluarkan lebih ekonomis dan efisien, serta diharapkan dapat mengoptimalkan unit-unit pembangkitan yang berapa di pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Pada PLTA Ir. H. Djuanda terdapat 6 unit generator untuk menghasilkan energi listrik sebesar 187,5MW. PLTA Ir. H. Djuanda. Permasalahan yang terdapat pada PLTA Ir. H. Djuanda didapatkan bahwa produksi listriknya yang dibangkitkan masih kurang optimal dikarenakan 6 unit pembangkit yang ada dalam kondisi bekerja semua. Oleh sebab itu penelitian ini menyajikan penyelesaian permasalahan tentang pengaruh debit air, tinggi muka air dan tinggi jatuh air serta penjadwalan unit pembangkitan pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) jangka menengah (6 bulan) dengan menggunakan metode *Linear Programming* (LP) dengan bantuan *software* analisis. Hasil analisis optimasi penjadwalan unit pembangkit dan total beban listrik menggunakan metode *Linear Programming* dengan membandingkan data riil di PLTA Ir. H. Djuanda mendapatkan nilai rata-rata selisih dan *error* pada bulan Januari sebesar 1,74 dan 3,17%, bulan Februari sebesar 3,9 dan 6,6% , bulan Maret 4,8 dan 7%, bulan April 43,0 dan 26,33%, bulan Mei 50,5 dan 32,8%, bulan Juni 2,1 dan 1,84%.

Kata Kunci : Debit Air, *Linear Programming*, Penjadwalan.

1. Pendahuluan

Jumlah penduduk Indonesia semakin hari semakin bertambah. Peningkatan ini menyebabkan kebutuhan tenaga listrik di Indonesia bertambah, namun hal tersebut belum diimbangi dengan distribusi sumber pembangkit tenaga listrik. Sehingga penyaluran energi listrik tidak sampai ke pedesaan, tetapi hanya sampai ke perkotaan. Salah satu solusi untuk memanfaatkan sumber daya yang ada untuk menghasilkan listrik adalah dengan membangun pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik tenaga air menggunakan sumber daya air dan memanfaatkan ketinggian untuk mengubahnya menjadi listrik. Hal ini diperlukan untuk mengantisipasi kebutuhan listrik terutama di daerah pedesaan yang belum terjangkau (Gunawan et al., 2020).

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah pembangkit listrik yang mengubah sumber daya air menjadi energi listrik. Prinsip kerja sistem pembangkit listrik tenaga air adalah menggunakan ketinggian yang dibantu oleh turbin air untuk mengubah energi air yang mengalir dari bendungan menjadi energi mekanik. Kemudian berdasarkan hasil gerak turbin yang menghasilkan energi mekanik akan diubah menjadi energi listrik dengan bantuan generator (Han & goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, 2019). Namun, energi listrik yang dihasilkan pada PLTA tidak selalu menghasilkan energi listrik yang maksimal. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi hasil energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA yaitu sumber daya air dan ketinggian jatuh air yang berapa pada bendungan. Salah satu pembangkit yang memanfaatkan sumber daya air yaitu PLTA Ir. H. Djuanda.

PLTA Ir. H. Djuanda memiliki 6 generator utama yang mampu menghasilkan listrik sebesar 187,5 MW. Pembangkit tenaga listrik dapat menghasilkan rata-rata 900 juta kWh pertahun untuk disalurkan ke PT. PLN (Persero) dan Industri di sekitar kawasan Jatiluhur-Purwakarta melalui jaringan transmisi 150 kV dan 70 kV. Sesuai dengan karakteristiknya, PLTA Ir. H. Djuanda juga merupakan PLTA serba guna. Selain sebagai pembangkit listrik, PLTA ini juga memiliki fungsi air irigasi, pengendalian banjir, perikanan dan pariwisata. Oleh karena itu, pembangkit listrik perlu dikoordinasikan dengan kebutuhan irigasi dan musim tanam padi. Daya yang dibangkitkan oleh generator umumnya 187,5 MW, namun energi listrik yang dihasilkan juga bergantung pada ketersediaan air dan kebutuhan air di hilir, karena sumber air bendungan Jatiluhur berasal dari bendungan Saguling dan Cirata. Selanjutnya air pada bendungan Jatiluhur akan digunakan untuk membangkitkan energi listrik serta irigasi (*Perum Jasa Tirta II / PLTA & EBT*, 2020).

Salah satu masalah operasi PLTA adalah pasokan air dan ketersediaan air yang terbatas yang dapat disimpan dalam *reservoir* atau kolam tandon harian. Keterbatasan ini dapat menyebabkan daya yang dibangkitkan tidak maksimal pada tiap unit-unit pembangkitan (Prasetijo & Setia, 2014). (Prasetijo & Setia, 2014). Dengan mengoptimalkan ketersediaan air yang terdapat di bendungan (waduk) dan kebutuhan air konsumen, pembangkit listrik harus mampu menjalankan generator agar dapat menghasilkan listrik yang terbaik. Adapun penelitian sebelumnya tentang pengiriman energi pembangkit listrik PT.PJB unit pembangkit brantas Siman PLTA Siman. Penjadwalan menggunakan metode *Linear Programming* jangka pendek (*short-term*) selama 1 minggu. Hasil pengiriman energi selama 1 minggu sebesar 1.057.534 kW dengan persentase 97% (Danajaya, 2017).

Pada penelitian lain tentang optimasi pengoperasian pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan menggunakan LP dan kendala air yang tersedia, yaitu air yang tersedia dari *reservoir* digunakan sebagai batas operasi untuk memaksimalkan tenaga air yang dihasilkan selama operasi transmisi energi pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Penelitian ini mengusulkan metode baru untuk mengoptimalkan operasi PLTA jangka pendek. Hasil untuk 1 hari adalah 96121,55 kWh, lebih besar 1427 kWh (1,51%)

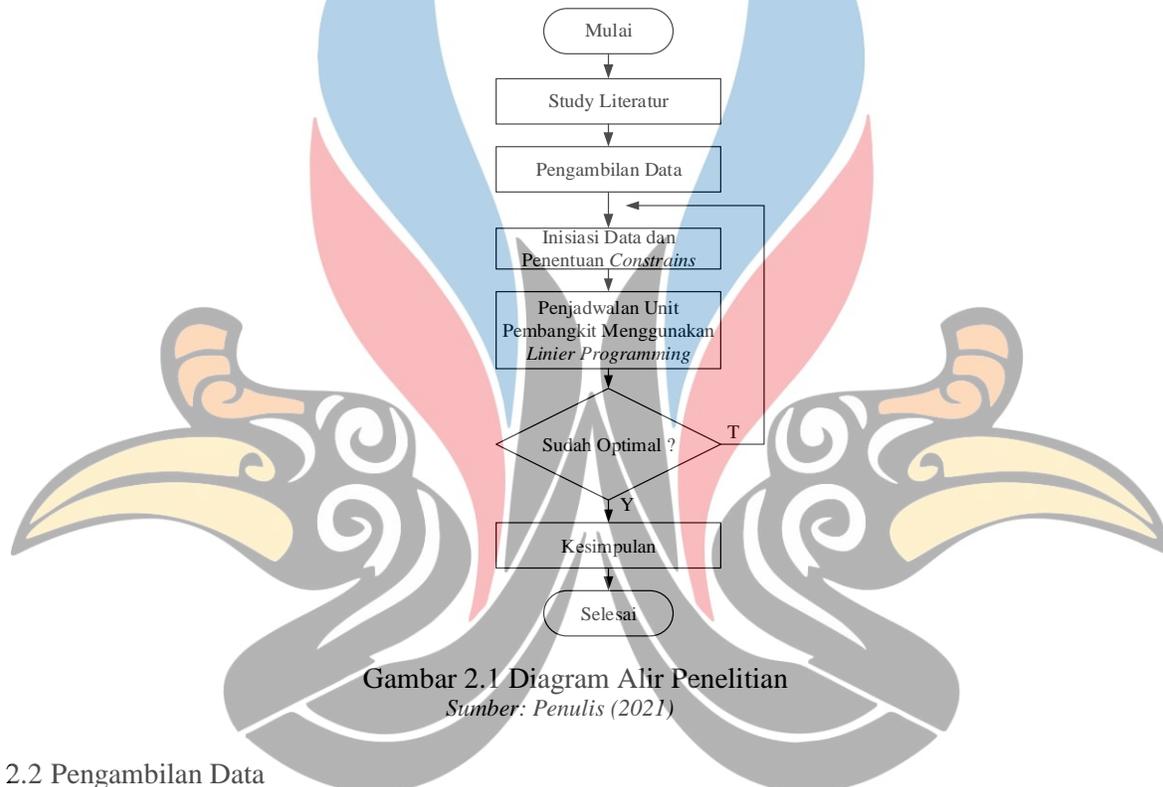
Dari permasalahan yang terdapat pada PLTA didapatkan bahwa produksi listrik yang dibangkitkan masih kurang optimal dikarenakan 6 unit pembangkit yang ada dalam kondisi bekerja semua. Sehingga dilakukan optimasi yang bertujuan mengoptimalkan penjadwalan unit pembangkit pada PLTA Ir. H. Djuanda serta menganalisis pengaruh debit air, tinggi muka air, ketinggian jatuh air terhadap daya yang

dibangkitkan oleh PLTA Ir. H. Djuanda. Manfaat dari penelitian ini yaitu mampu memberikan rekomendasi kepada PLTA Ir. H. Djuanda terkait pengoperasian unit pembangkit untuk memperoleh hasil produksi listrik yang lebih optimal dan memberikan pengetahuan atau referensi terkait penerapan metode *Linear Programming* untuk pengoptimalan unit pembangkit di PLTA.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian menggambarkan tahapan-tahapan dalam penyelesaian tugas akhir. Diagram alir penelitian Tugas Akhir yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 1.



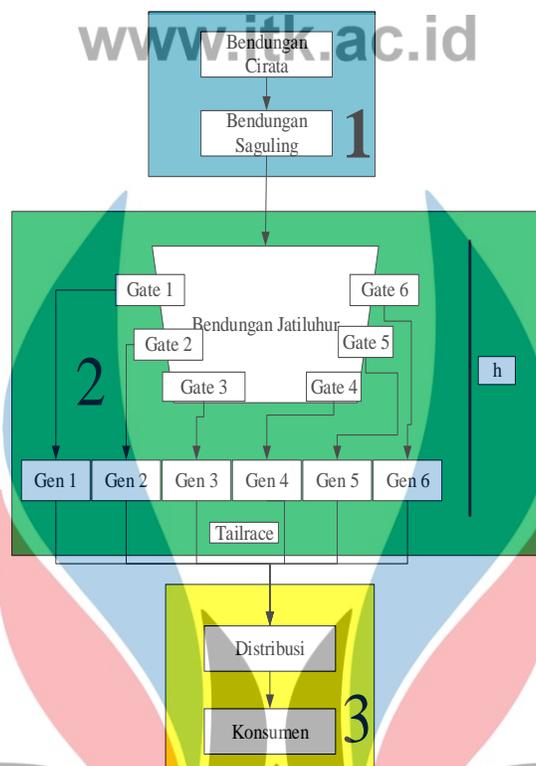
Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian
Sumber: Penulis (2021)

2.2 Pengambilan Data

Pada penelitian ini dibutuhkan data dari PLTA Ir. H. Djuanda sebagai bahan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Data Tinggi Muka Air, Permintaan Air di Hilir PLTA Ir. H. Djuanda
- Total Produksi Listrik tahun 2020 PLTA Ir. H. Djuanda
- Spesifikasi Alat
- Ilustrasi PLTA Ir. H. Djuanda

Pada Ilustrasi PLTA Ir. H. Djuanda terdapat pada gambar 3.2. Pada gambar 3.2 untuk poin 1 sebagai input air yang masuk ke dalam bendungan jatiluhur. Selanjutnya pada poin 2 yaitu proses hasil produksi listrik yang dibangkitkan oleh PLTA. *Tailrace* pada poin 2 merupakan saluran pembuangan air ke hilir. Poin 3 merupakan pendistribusian hasil produksi listrik kepada konsumen. Untuk h merupakan tinggi jatuh air yang didapatkan dari tinggi muka air bendungan dikurangi dengan tinggi tailrace. Ilustrasi PLTA tersebut digunakan sebagai acuan batasan masalah pada optimasi *Linear Programming* menggunakan simulasi.



Gambar 2.2 Ilustrasi PLTA Ir. H. Djuanda
 Sumber: Penulis (2021)

Selanjutnya merupakan data spesifikasi generator yang terlampir pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Generator
 Sumber: PLTA Ir. H. Djuanda (2021)

GEC ALSTHOM FRANCE	
GENERATOR REFURBISHMENT IN 1995	
Daya output	35000 kva
Voltage output	6300 V
Current output	3208 A
Power factor	0,93 %
Excitation voltage	1,76 V
Excitation current	578 A
Phase	3
Winding connection	Y
Frequency	50 Hz
Insulation class	F
Speed	272,7 Rpm
Gec Alsthom order	414072

Pada Tabel 2.1 dibutuhkan dalam melakukan perhitungan hasil produksi listrik yang dibangkitkan oleh PLTA Ir. H. Djuanda. Untuk daya keluaran pada generator sebesar 35000 kva, selanjutnya untuk tegangan keluaran 6300 Volt, arus keluaran sebesar 3208 Ampere, power factor sebesar 0,93%, tegangan eksitasi sebesar 1,76 Volt, arus eksitasi sebesar 578 Ampere.

Tabel 2.2 mendeskripsikan spesifikasi *France Turbine* yang dibutuhkan sebagai batasan dalam melakukan simulasi. Daya (*power*) yang dapat dihasilkan oleh turbin sebesar 32.3 Megawatt, ketinggian jatuh air (*head*) sebesar 77 meter, debit air (*discharge*) yang masuk pada turbin sebesar 46,7 m³/s, kecepatan turbin (*speed*) sebesar 272,7 Rpm.

Tabel 2.2 Spesifikasi *France Turbin*
Sumber: PLTA Ir. H. Djuanda (2021)

GEC ALSTHOM FRANCE TURBIN REFURBISHMENT IN 1995		
<i>Power</i>	32,3	MW
<i>Head</i>	77	m
<i>Discharge</i>	46,7	m ³ /s
<i>Speed</i>	272,7	Rpm

2.3 Inisiasi Data dan Penentuan *Constrains*

Melalui data yang telah didapatkan selanjutnya dilakukan pemilihan data sebagai *input* dan batasan-batasan (*constrains*) yang akan disimulasikan menggunakan metode *Linear Programming* (LP). Setelah didapatkan hasil simulasi tersebut, metode dari LP akan dibandingkan dengan data riil PLTA Ir. H. Djuanda untuk mencari hasil daya listrik yang optimal.

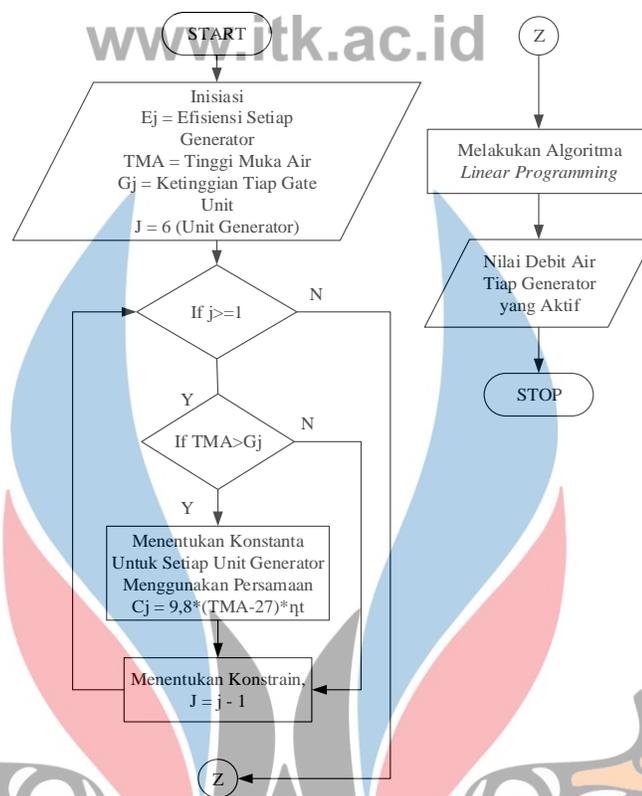
2.4 Penjadwalan Unit Pembangkit Menggunakan *Linear Programming*

Berikut adalah tahapan pemrograman penjadwalan unit pembangkit menggunakan simulasi pada *software* analisis. Simulasi pada *software* ini digunakan untuk mempercepat proses perhitungan dengan menggunakan metode *Linear Programming*. *Linear Programming* digunakan untuk melakukan pengoptimalan unit pembangkit agar daya listrik yang dihasilkan dapat maksimal dengan batasan-batasan yang ada. Proses pembentukan variabel dan batasan pada *Linear Programming* dijelaskan lebih lanjut pada sub-bab 3.2. Penjelasan secara garis besar akan dijelaskan sebagai berikut.

- Menentukan fungsi objektif yang akan digunakan sebagai variabel yang akan dicari sehingga bisa didapatkan penjadwalan tiap unit berdasarkan variabel tersebut.
 - Mencari batasan-batasan berdasarkan data yang didapat dari PLTA Ir.Djuanda dan fungsi objektif yang telah ditentukan.
 - Pengoptimalan menggunakan simulasi *software* analisis dengan metode *Linear Programming*
- Dari hasil pengoptimalan penjadwalan tersebut maka didapatkan hasil dari simulasi menggunakan simulasi *software* analisis menggunakan *Linear Programming*.

2.5 Diagram Alir Simulasi

Pada bab ini menjelaskan diagram alir simulasi yang akan digunakan untuk mengoptimalkan hasil daya listrik yang dihasilkan tiap unit pembangkit. Pengoptimalan unit pembangkit menggunakan metode *Linear Programming* dalam menyelesaikan masalah dengan bantuan *software analisis*.



Gambar 2.3 Diagram Alir Simulasi
Sumber: Penulis (2021)

Pada Gambar 2.3 merupakan proses simulasi di awali dengan menginialisasi variabel berupa :

- Efisiensi setiap generator (E_j),
- Tinggi muka air (TMA),
- Ketinggian tiap gate unit (G_j),
- Unit pembangkit yang berada di PLTA (j).

Data yang akan digunakan untuk melakukan simulasi yaitu data PLTA Ir. H. Djuanda pada bulan Januari hingga Juni 2020. Tahap selanjutnya jika unit lebih besar atau sama dengan dari 1 maka akan lanjut ke tahap selanjutnya dimana jika TMA lebih tinggi dari G_j , maka dapat menentukan konstanta untuk setiap unit generator menggunakan persamaan (2.3). Setelah mendapatkan konstanta pada setiap unit generator, Selanjutnya menentukan batasan-batasan (*constrains*) untuk setiap generator j , dimana Z total daya listrik yang dibangkit oleh PLTA Ir. H. Djuanda harus kurang dari atau sama 187,5 MW, C_{1-6} merupakan konstanta fungsi *objective* yaitu debit air yang masuk pada turbin harus lebih besar sama dengan 0 dan harus kurang dari sama dengan 46,7 m³/s, Q_j merupakan variabel berupa debit air yang akan ditentukan dari hasil *Linear Programming*. Berikut batasan-batasan yang diperlukan untuk mendapatkan hasil produksi listrik menggunakan metode *Linear Programming*.

$$Z \leq 187,5 \text{ MW} \quad (2.1)$$

$$0 \leq C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 \geq 46,7 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2.2)$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = \text{Total permintaan air} \quad (2.3)$$

$$C_1 Q_1 \leq 32,5 \text{ MW} \quad (2.4)$$

$$C_2 Q_2 \leq 32,5 \text{ MW} \quad (2.5)$$

$$C_3 Q_3 \leq 32,5 \text{ MW} \quad (2.6)$$

$$C_4 Q_4 \leq 32,5 \text{ MW} \quad (2.7)$$

$$C_5 Q_5 \leq 32,5 \text{ MW} \quad (2.8)$$

$$C_6 Q_6 \leq 24,5 \text{ MW} \quad (2.9)$$

Kemudian setelah didapatkan constraints, dengan menggunakan persamaan (2.3) maka dapat ditentukan nilai C_j sebagai berikut.

$$C_j = 9,8 \times (TMA - 27) \times \eta_T \quad (2.10)$$

Fungsi objektif yang digunakan pada *Linear Programming* adalah persamaan (2.1) karena optimasi yang diinginkan berdasarkan hasil maksimal produksi listrik Yang Bisa Dihasilkan Z. Setelah menentukan *constraints* dan menghitung daya listrik yang dibangkitkan, selanjutnya dimana nilai j akan dikurangkan dengan 1 untuk menentukan generator selanjutnya yang bekerja hingga hasilnya sama dengan 0. Selanjutnya ketika j sama dengan 0 maka simulasi dapat dilakukan dengan metode *Linear Programming* pada *software* analisis. Hasil simulasi yang didapatkan berupa nilai debit air tiap unit generator. Setelah didapatkan hasil tersebut maka simulasi dapat berhenti.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Simulasi Optimasi Daya Pembangkit Menggunakan *Linear Programming*.

Pada bagian ini didapatkan hasil data optimalisasi penjadwalan unit pembangkit menggunakan *software* analisis dengan metode *Linear Programming* pada bulan Januari hingga Juni, untuk data pada bulan Februari hingga Juni terdapat pada lampiran B-2. Contohnya pada tanggal 1 Januari dilakukan perhitungan manual untuk menghitung daya pembangkit dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$P = \rho \times g \times h \times Q \times \eta$$

$$P = 1000 \times 9,8 \times 62,4 \times 83,47 \times 0,93$$

$$P = 47.470.524 \text{ Watt}$$

$$P = 47.47 \text{ MW}$$

Setelah dilakukanya perhitungan maka dapat dilakukan simulasi menggunakan *software* analisis untuk hari dan bulan selanjutnya. TMA merupakan tinggi muka air pada bendungan Jatiluhur, AK merupakan permintaan air di hilir untuk masyarakat, total beban merupakan hasil daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTA. Dilihat pada Tabel 3.1 merupakan data hasil simulasi menggunakan *software* analisis sebagai berikut.

Tabel 3.1 Hasil Data Estimasi Perhitungan Bulan Januari dengan *Linear Programming*

Sumber: Penulis (2021)

Tanggal	TMA (mdpl)	AK (m3/s)	Total Beban Listrik (MW)
1	89,4	83,47	47,47
2	89,5	83,78	47,72
3	89,7	84,09	48,05
4	89,8	84,87	48,58
5	90,	85,29	48,97
6	90	90,19	51,79
7	90,2	89,84	51,75
8	90,4	84,46	48,80
9	90,7	85,84	49,84
10	91,1	83,3	48,66
11	91,2	83,79	49,03

Tanggal	TMA (mdpl)	AK (m ³ /s)	Total Beban Listrik (MW)
12	91,3	83,77	49,09
13	91,3	83,34	48,84
14	91,4	84,03	49,32
15	91,5	84,41	49,62
16	91,5	85,71	50,38
17	91,5	81,75	48,06
18	91,7	80,97	47,75
19	91,7	81,66	48,15
20	91,6	88,28	51,98
21	91,8	81,1	47,90
22	91,8	84,55	49,93
23	91,7	97,11	57,26
24	91,7	89,19	52,59
25	91,7	82,21	48,48
26	91,6	77,07	45,38
27	91,5	79,39	46,67
28	91,7	81,84	48,26
29	91,8	82,41	48,67
30	92,2	79,88	47,47
31	92,3	91,09	54,21

Setelah didapatkan hasil data dari simulasi, selanjutnya data hasil simulasi pada bulan Januari akan dibandingkan dengan data riil daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga air Ir. H. Djuada. Untuk data perbandingan pada bulan Februari hingga Juni dapat dilihat pada lampiran C-3. Dapat dilihat pada Tabel 3.2 hasil perbandingan data simulasi dengan data riil sebagai berikut.

Tabel 3.2 Perbandingan Data Estimasi Perhitungan dengan Data Riil PLTA Pada Bulan Januari

Sumber: Penulis (2021)

Tanggal	TMA (mdpl)	AK (m ³ /s)	Data Riil (MW)	Data Simulasi (MW)	Selisih	Error (%)
1	89,4	83,47	46,43	49,45	3,02	6,50
2	89,5	83,78	46,21	49,63	3,42	7,41
3	89,7	84,09	46,50	49,82	3,32	7,13
4	89,8	84,87	47,04	50,28	3,24	6,88
5	90	85,29	47,13	50,53	3,40	7,22
6	90	90,19	49,92	53,43	3,51	7,04
7	90,2	89,84	49,88	53,22	3,35	6,71
8	90,4	84,46	47,13	50,03	2,91	6,17
9	90,7	85,84	48,17	50,85	2,69	5,58
10	91,1	83,3	46,96	49,35	2,39	5,09

Tanggal	TMA (mdpl)	AK (m ³ /s)	Data Riil (MW)	Data Simulasi (MW)	Selisih	Error (%)
11	91,2	83,79	47,29	49,64	2,35	4,96
12	91,3	83,77	47,33	49,63	2,29	4,84
13	91,3	83,34	47,13	49,37	2,25	4,77
14	91,4	84,03	47,58	49,78	2,20	4,62
15	91,5	84,41	48,04	50,01	1,96	4,09
16	91,5	85,71	48,58	50,78	2,19	4,51
17	91,5	81,75	46,21	48,43	2,22	4,81
18	91,7	80,97	45,83	47,97	2,13	4,66
19	91,7	81,66	46,25	48,38	2,13	4,60
20	91,6	88,28	50,13	52,30	2,17	4,34
21	91,8	81,1	45,96	48,04	2,09	4,54
22	91,8	84,55	47,92	50,09	2,17	4,53
23	91,7	97,11	55,71	57,53	1,82	3,27
24	91,7	89,19	50,75	52,84	2,09	4,11
25	91,7	82,21	46,75	48,70	1,95	4,18
26	91,6	77,07	43,75	45,66	1,91	4,36
27	91,5	79,39	45,08	47,03	1,95	4,32
28	91,7	81,84	46,63	48,48	1,86	3,98
29	91,8	53,41	46,25	48,82	2,57	5,56
30	92,2	79,88	45,88	47,32	1,45	3,15
31	92,3	91,09	52,42	53,96	1,55	2,95
Rata-rata	91,13	83,53	47,63	49,38	1,74	3,7

Berdasarkan Tabel 3.2 hasil pengukuran simulasi dibandingkan dengan data riil didapatkan nilai rata-rata TMA sebesar 91,13, AK sebesar 83,53, total beban riil sebesar 47,63, data estimasi perhitungan sebesar 49,38, selisih rata-rata sebesar 1,74 dan error rata-rata sebesar 3,7%. Perbandingan data simulasi dengan data riil ketika memasukan data selama 1 bulan didapatkan data yang nilai pengukurannya lebih tinggi dibandingkan dengan nilai hasil simulasi.

Selanjutnya Pada Tabel 3.2 menunjukkan perbandingan data penjadwalan hasil simulasi unit pembangkit menggunakan *Linear Programming* dengan data riil pada bulan Januari. Untuk mencari unit yang beroperasi pada tanggal 1 menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P = \rho \times g \times h \times Q \times \eta$$

$$P = 1000 \times 9,8 \times 62,4 \times 46,7 \times 0,93$$

$$P = 26.558.925,12 \text{ Watt}$$

Selanjutnya untuk AK akan dikurangkan dengan maksimal debit air yang bisa masuk ke turbin yaitu 83,47–46,7 = 36,77. Setelah itu dilakukan lagi perhitungan dan didapatkan hasil sebesar 20.911.559,072 Watt. dapat disimpulkan bahwa untuk perhitungan estimasi didapatkan hanya 2 unit pembangkit yang beroperasi untuk mendapatkan hasil yang optimal. Untuk hari berikutnya menggunakan persamaan yang sama dan dapat dilihat hasilnya pada Tabel 3.3. Dapat dilihat dari Tabel 4.2 diatas bahwa hasil

penjadwalan menggunakan simulasi lebih efisien dibandingkan dengan data real. Hal ini dikarenakan jumlah unit turbin yang digunakan lebih sedikit dari penjadwalan yang dilakukan pada kondisi riil.

Tabel 3.3 Perbandingan Penjadwalan Esmitimasi Kondisi Unit Pembangkit dengan Data Riil

Sumber: Penulis (2021)

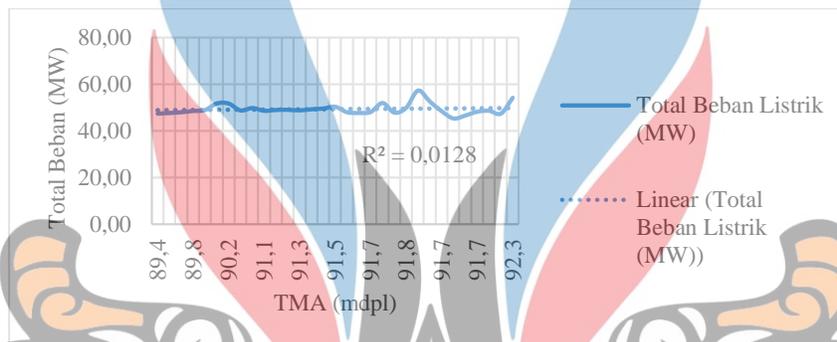
Tanggal	KONDISI PEMBANGKIT (SIMULASI)						KONDISI PEMBANGKIT (RIIL)					
	UNIT						UNIT					
-	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
2	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
3	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
4	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
5	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
6	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
7	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
8	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	Off
9	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	On	Off
10	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	On	Off
11	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
12	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
13	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
14	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
15	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
16	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
17	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
18	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
19	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
20	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
21	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
22	Off	Off	On	On	Off	Off	On	Off	Off	On	Off	On
23	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	On	Off	On
24	Off	Off	On	On	Off	Off	On	On	Off	On	Off	Off
25	Off	Off	On	On	Off	Off	On	On	Off	On	Off	Off
26	Off	Off	On	On	Off	Off	On	On	Off	On	Off	Off
27	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	Off	Off
28	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
29	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
30	Off	Off	On	On	Off	Off	Off	On	Off	On	On	Off
31	Off	Off	On	On	Off	Off	On	On	Off	On	Off	Off

Hidup / bekerja

Mati / tidak bekerja

3.2 Analisis Pengaruh Tinggi Muka Air, Debit Air, dan Ketinggian Jatuh Air

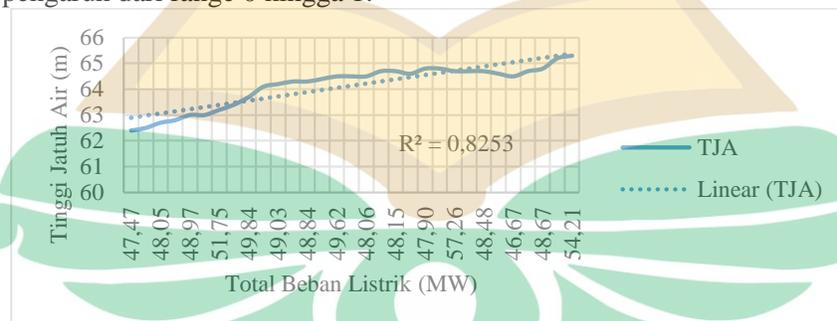
Pada bagian ini dilakukan analisis pengaruh dari tinggi muka air, debit air dan jatuh air terhadap daya listrik yang dihasilkan berdasarkan studi kasus yang diambil pada tanggal 1 Januari – 31 Januari 2020 di PLTA Ir. H. Djuanda. Pada Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa grafik dari hasil simulasi dengan membandingkan antara tinggi muka air, total beban, permintaan air di hilir dan tinggi jatuh air. Menggunakan fitur yang terdapat di *microsoft office* untuk menampilkan trendline hasil grafik pengaruh tinggi muka air terhadap total beban listrik. Didapatkan nilai R^2 yang merupakan hubungan terbaik antara 2 input pada grafik tersebut. Berdasarkan dari grafik pada Gambar 3.1. Untuk tinggi muka air (TMA) tidak berpengaruh signifikan terhadap daya listrik yang dihasilkan karena sebaran data TMA tidak terlalu besar. Dapat dilihat dari hasil koefisien determinasi dimana nilai $R^2 = 0,0128$. Dari hasil nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa TMA hanya sedikit memberikan pengaruh terhadap total beban yang dihasilkan karena koefisien determinasi dapat dikatakan berpengaruh karena berada dalam rentang 0 hingga 1.



Gambar 3.1 Grafik Pengaruh TMA Terhadap Total Beban

Sumber: Penulis (2021)

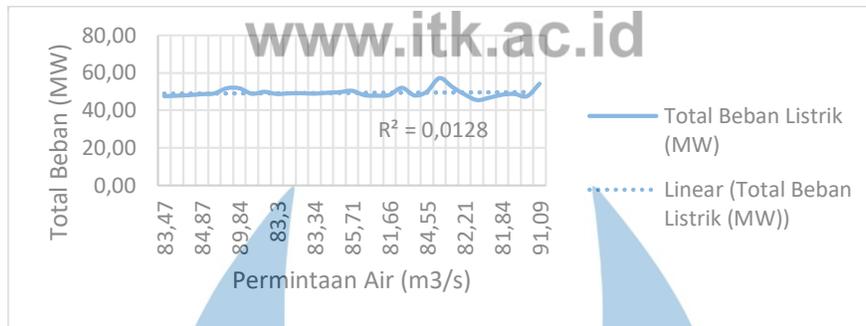
Selanjutnya untuk pengaruh Tinggi Jatuh Air (TJA) terhadap total beban yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.2. Garis putus-putus merupakan TJA dan garis lurus merupakan total beban. Menggunakan fitur yang terdapat di *microsoft office* untuk menampilkan trendline hasil grafik pengaruh tinggi muka air terhadap total beban listrik. Didapatkan nilai R^2 yang merupakan hubungan terbaik antara 2 input pada grafik tersebut. Berdasarkan pada Grafik 3.2, Untuk Tinggi Jatuh Air (TJA) memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap daya listrik yang dihasilkan. Dapat dilihat dari hasil koefisien determinasi dimana nilai $R^2 = 0,8253$. Dari hasil nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa TJA memberikan pengaruh terhadap total beban yang dihasilkan karena koefisien determinasi dapat dikatakan berpengaruh dari range 0 hingga 1.



Gambar 3.2 Grafik Pengaruh TJA Terhadap Total Beban

Sumber: Penulis (2021)

Untuk selanjutnya, permintaan air (AK) berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan. Gambar 3.3 menunjukkan pengaruh AK terhadap total beban sebagai berikut.



Gambar 3.3 Grafik Pengaruh AK Terhadap Total Beban
Sumber: Penulis (2021)

Menggunakan fitur yang terdapat di *microsoft office* untuk menampilkan trendline hasil grafik pengaruh tinggi muka air terhadap total beban listrik. Didapatkan nilai R^2 yang merupakan hubungan terbaik antara 2 input pada grafik tersebut. Berdasarkan pada Grafik 3.3. Garis putus-putus merupakan total beban dan garis lurus merupakan permintaan air (AK). Untuk Permintaan Air (AK) berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan, terlihat dari hasil koefisien determinasi dimana nilai $R^2 = 0,0128$. Dari hasil nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa AK hanya memberikan sedikit pengaruh terhadap total beban yang dihasilkan karena koefisien determinasi dapat dikatakan cukup berpengaruh karena dalam rentang 0 hingga 1.

Dari hasil penelitian tersebut maka didapatkan nilai rata-rata untuk perhitungan estimasi total beban sebesar 49,38 dan didapatkan nilai rata-rata selisih dengan data riil dan eror sebesar 1,74 dan 3,17. Setelah dilakukannya penjadwalan unit pembangkit dengan didapatkan hasil esmitasi penjadwalan bahwa hanya 2 unit pembangkit yang beroperasi dengan total daya yang dihasilkan melebihi data riil, sedangkan untuk penjadwalan riil, unit yang beroperasi sebanyak 2 hingga 3 unit pembangkit.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Optimasi Penjadwalan Unit Pembangkit di PLTA Ir. H. Djuanda menggunakan metode *Linear Programming* yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Tinggi muka air dan AK tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh PLTA, dibuktikan dari koefisien determinasi untuk TMA dan AK sebesar 0,0128 dan 0,0128. Kemudian untuk tinggi jatuh air (TJA) memberikan pengaruh signifikan terhadap total daya listrik yang dihasilkan oleh PLTA dengan koefisiensi determinasi sebesar 0,8253.
2. Penjadwalan unit pembangkit menggunakan *Linear Programming* lebih efisien dari data riil karena dari hasil simulasi unit pembangkit yang bekerja hanya 2 hingga 3 unit sedangkan pada data riil penjadwalan unit pembangkit dapat bekerja lebih dari 3 hingga unit pembangkit dengan total daya listrik yang dihasilkan lebih besar dengan total daya riil.
3. Pada bulan Januari hingga Juni didapatkan nilai rata-rata selisih dan error dari perbandingan total beban simulasi dengan total beban riil pada bulan Januari sebesar 2,4 dan 3,17%, bulan Februari sebesar 3,9 dan 6,6% , bulan Maret 4,8 dan 7%, bulan April 43,0 dan 26,33%, bulan Mei 50,5 dan 32,8%, bulan Juni 2,1 dan 1,84%.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Institut Teknologi Kalimantan, Karang Joang, Balikpapan. Terimakasih kepada Ibu Firilia Filiana, S.T., M.T., dan Ibu Happy Aprillia, S.ST., M.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama dan dosen pembimbing pendamping.

www.itk.ac.id

Referensi

Danajaya, I. M. B. (2017). *SCHEDULING ENERGI PEMBANGKITAN DI PT . PJB UNIT PEMBANGKITAN BRANTAS PLTA SIMAN*. 65–70.

Gunawan, W., Muslim, S., & Rahardjo, I. A. (2020). Pengaruh Curah Hujan dan Debit Air Terhadap Produktivitas Energi Listrik yang Dihasilkan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (Studi Kasus : Sub Unit PLTA Kracak , Kabupaten Bogor Jawa Barat). *Journal of Electrical and Vocational Education and Technology*, 5(1), 394–398.

Han, E. S., & goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A. (2019). MODUL PEMBELAJARAN PLTA BERBASIS AUGMENTED REALITY. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Perum Jasa Tirta II | PLTA & EBT. (2020). <http://www.jasatirta2.co.id/plta>

Prasetijo, H., & Setia, G. A. (2014). Optimalisasi Jangka Menengah PLTA Memperhatikan Ketersediaan Air Menggunakan Linear Programming. *Jnteti*, 03(2), 152–156.



www.itk.ac.id