

Operasi Ekonomis Motor Pompa Air pada *Water Treatment Plant* menggunakan Metode Iterasi Lambda

Ciptian Weriend Priyananda^{1*}, Ferian Bagus Kusuma², Tegar Esa Herlambang³, Fivitria Istiqomah², HENDY BRIANTORO⁵, Arif Musthofa⁶

^{1,2,4,6}Institut Teknologi Sepuluh Nopember

³PT Indolakto – Pandaan

⁵Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

*Corresponding author e-mail: ciptian@eea.its.ac.id

ABSTRAK

Water Treatment Plant (WTP) sebagai unit pengolahan air memiliki dua buah motor pompa air dengan kapasitas daya listrik yang berbeda pada dua sumur dengan kapasitas yang berbeda pula. Selama ini operasi kedua motor pompa masih menggunakan penjadwalan manual yang berpotensi tidak hemat energi listrik. Hal ini menjadi peluang dalam pengembangan metode pengoperasian ekonomis motor pompa air agar konsumsi energi listrik dapat diturunkan guna mendukung program kerja perusahaan. Penelitian ini memberikan pendekatan operasi ekonomis dengan menggunakan metode Iterasi Lambda yang umum digunakan pada sistem tenaga listrik untuk mencapai operasi ekonomis pada motor pompa air. Iterasi Lambda bekerja dengan mempertahankan kapasitas WTP dengan batasan (*constraint*) minimum sebesar 25.452 liter dan maksimum sebesar 112.000 liter dari kapasitas tanki WTP. Penggunaan metode Iterasi mencapai konvergensi pada iterasi ke-11, dengan hasil perhitungan motor pompa air pertama sebesar 59.000 liter serta motor pompa air kedua sebesar 53.000 liter dengan biaya total (*objective function*) setiap satu kali siklus pengisian air Rp 6.214,- lebih hemat 34% dibandingkan dengan metode penjadwalan manual sebelumnya.

Kata kunci: Iterasi Lambda, Motor Pompa Air, Penghematan Energi Listrik, Operasi Ekonomis.

ABSTRACT

*The Water Treatment Plant (WTP) as a water treatment unit has two water pump motors with different electrical power capacities in two wells with different capacities. So far, the operation of both pump motors is still using manual scheduling which has potentially not energi efficient. This is an opportunity to develop an economical operating method for the water pump motor so that the consumption of electrical energy can be reduced to support the company's work program. This study provides an economical operation approach using the Lambda Iteration method which is commonly used in electric power systems to achieve economical operation on water pump motors. Lambda iteration works by maintaining WTP capacity with a minimum constraint of 25,452 liters and a maximum of 112,000 liters of WTP tank capacity. The use of the Iteration method achieves convergence in the 11th iteration, with the the first water pump motor provide 59,000 liters and the second water pump motor provide 53,000 liters with a total cost (*objective function*) for each water filling cycle of Rp. 6,214, -, approximately 34% more efficient compared to the previous manual scheduling method.*

Keywords: *Lambda Iteration, Water Pump Motor, Electric Energy Saving, Economical Operation*

I. PENDAHULUAN

Bagian Sebuah perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan susu memiliki sistem pengolahan air bersih untuk mendukung proses

produksi. Bagian *Water Treatment Plant* (WTP) selama ini telah menggunakan dua sumber mata air berupa sumur yang digunakan untuk memasok kebutuhan proses produksi. Rata-rata produksi yang disedot olah motor pompa pada sumber mata air

pertama sebanyak 200m³ per hari dan sumber mata air kedua sebanyak 382m³ per hari.

Perusahaan yang berlokasi di Pandaan – Jawa Timur ini sedang bertransformasi dengan menerapkan beragam sistem otomasi pada tiap *plant* yang dimilikinya, salah satunya pada *Water Treatment Plant* (WTP). Akan tetapi sistem otomasi yang digunakan belum mempertimbangkan operasi ekonomis untuk penghematan energi. Di sisi lain, perusahaan juga sudah menetapkan visi dan program kerja untuk melakukan pengurangan konsumsi energi sebesar 3% pertahun. Dengan demikian, hal ini menjadi peluang pengembangan metode pengoperasian motor pompa air agar konsumsi energi listrik dapat lebih efisien.

Untuk mengatasi hal tersebut maka dengan mengadopsi metode Iterasi Lambda yang biasa digunakan secara sederhana pada proses operasi ekonomis sistem tenaga listrik maka penelitian ini mencoba untuk mengoptimalkan biaya operasi yang lebih ekonomis atau paling murah pada masing-masing motor pompa air. Motor pompa air juga membutuhkan *Variable Speed Drive* (VSD), untuk mengatur kecepatan motor pompa air dengan batasan awal sebesar 55% kapasitas tangki *raw water* yang terdapat pada bagian *Water Treatment Plant* (WTP) sampai dengan batasan 95% kapasitas. Dalam implementasinya untuk memantau debit air dari sumur ke bagian *Water Treatment Plant* (WTP) digunakan flowmeter untuk mendapatkan hasil debit air, dan juga ditambahkan sensor ultrasonik yang terhubung ke kontroler yang menghasilkan data ketinggian, selanjutnya data ketinggian air, data debit air dan tarif biaya pada motor pompa air yang akan ditampilkan melalui website

II. METODE

Pengoperasian sistem tenaga listrik pada frekuensi konstan selalu diusahakan pada daya seimbang apabila memenuhi syarat total daya yang dibangkitkan oleh generator sama dengan total beban yang diminta oleh sistem. Pada kondisi tertentu, terutama pada saat daya beban yang diminta sistem rendah, memungkinkan tidak semua generator bekerja. Pada kondisi ini, prioritas generator yang berkerja adalah generator yang memiliki biaya operasi paling rendah[1]. Hal ini bisa dinyatakan dalam bentuk persamaan 1 berikut:

$$F_i = a_i P^2 + b_i P_i + c_i \dots\dots\dots(1)$$

Dimana

- F_i = Biaya bahan bakar generator ke-*i* (Rp/Jam)
- a_i = Koefisien derajat dua generator I (Rp/Jam.MW²)
- b_i = Koefisien derajat satu generator *i* (Rp/Jam.MW)
- c_i = Konstanta (Rp/Jam)

Masalah pengoperasian ekonomis sebuah sistem adalah bagaimana menentukan daya yang dibangkitkan oleh setiap generator yang bekerja bersama untuk memenuhi permintaan beban sedemikian rupa sehingga total biayanya adalah minimum[1]. Secara matematis fungsi biaya dapat dinyatakan pada persamaan 2 berikut:

$$F_t = \sum_{i=1}^n (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

F_t = Biaya total bahan bakar generator (Rp/Jam)

Daya masing-masing unit generator harus berada diantara batasan daya minimum dan maksimum agar tetap mencapai operasi pembangkit yang efisien. Fenomena ini bisa dituliskan pada persamaan 3 berikut:

$$P_i(min) \leq P_i \leq P_i(max) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- $P(min)$ = Daya minimum generator *i* (MW)
- $P(maks)$ = Daya maksimum generator *i* (MW)

Kemudian cara untuk mengoptimasi beban sistem yang harus memperkecil biaya operasi pada persamaan pada persamaan 4, dimana persamaan tersebut harus memenuhi hubungan beban sistem sebagai berikut[2], [3].

$$P_R - \sum_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

P_R = Daya total beban sistem (MW)

Apabila rugi sistem tenaga listrik diabaikan maka berlaku fungsi pengali Lagrange. Dimana fungsi persamaan Lagrange adalah untuk memenuhi kondisi yang diperlukan pada nilai ekstrem fungsi objektif seperti terlihat pada persamaan 5.

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) + \lambda(P_R - \sum_{i=1}^n P_i) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana λ = pengali Lagrange sehingga operasi ekonomis tercapai dengan kondisi yang tertulis pada persamaan 6 [2].

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} + \lambda \left(\frac{\partial P_R}{\partial P_i} - \frac{\partial P_i}{\partial P_i} \right) = 0 \dots\dots\dots(6)$$

Dikarenakan P_R tidak bergantung pada perubahan P_i maka menjadi persamaan 7.

$$\frac{\partial F_i}{\partial P_i} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

Selanjutnya persamaan tersebut menjadi sebagai berikut dari persamaan 8 sampai dengan persamaan 10;

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} + \lambda(0 - 1) = 0 \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} - \lambda = 0 \dots\dots\dots(9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} = \lambda \dots\dots\dots(10)$$

Dikarenakan mengingat kepada Persamaan 2 menjadi Persamaan 11 berikut ;

$$F_t = \sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) \dots\dots\dots(11)$$

Maka ;

$$\frac{\partial F_t}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} = 2a_i P_i + b_i = \lambda \dots\dots\dots(12)$$

Dimana $\frac{\partial F_i}{\partial P_i}$ adalah laju biaya tambahan bahan bakar pada masing-masing generator unit pembangkit ke-i.

Economic dispatch didefinisikan sebagai mekanisme pembagian skema pembangkitan daya masing-masing unit pembangkit yang harus tetap memenuhi kebutuhan beban dengan biaya yang terendah secara ekonomis (fungsi optimum). Beragam metode telah digunakan untuk menyelesaikan persoalan *economic dispatch*. Pada prinsipnya adalah pencarian secara berulang untuk mendapatkan nilai yang optimal dari turunan pertama (F') dan turunan kedua (F'') dengan mempertimbangkan perubahan beban sebesar ΔP_i , dan perubahan *incrementasi cost* dari λ^0 ke $\lambda^0 + \Delta\lambda$ sebagaimana dirumuskan pada persamaan 13 [3].

$$\Delta\lambda_i = \Delta\lambda \cong F_i'' \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ i \end{smallmatrix} \right) \Delta P_i \dots\dots\dots(13)$$

Mempertimbangkan setiap unit N pada sistem, sehingga menjadi persamaan 14 berikut ;

$$\Delta P_N = \Delta P_D - \sum_{i=0}^k P \dots\dots\dots(14)$$

Kemudian, Total perubahan beban (P_D) yang dihasilkan oleh pembangkit pada setiap unit pembangkit, dapat dituliskan pada Persamaan 15.

$$\Delta P_D = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_N \dots\dots\dots(15)$$

Sementara pada metode Iterasi Lambda yang digunakan pada penelitian ini, besaran pembangkit akan digantikan oleh karakteristik dari motor pompa listrik. Iterasi Lambda akan berhenti ketika mencapai 10 iterasi atau mencapai error kurang dari 0,001 $\Delta P_N < 0,001$. Adapun nilai lambda dan P_i bisa dicari menggunakan Persamaan 16 dan Persamaan 17.

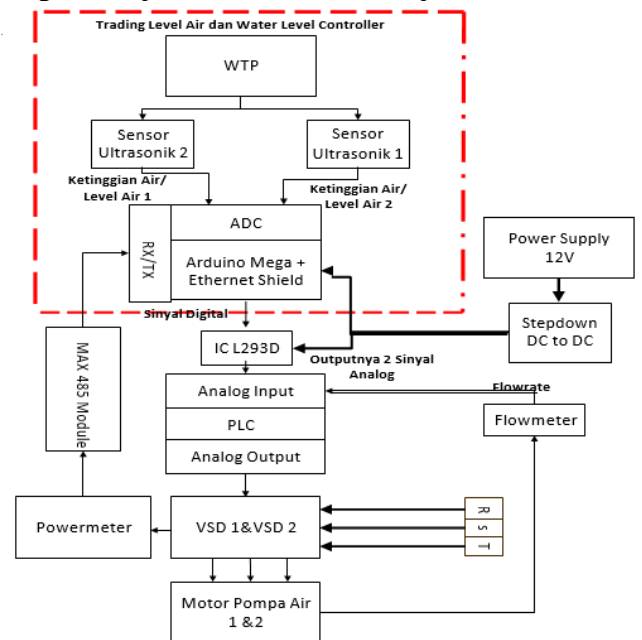
$$\Delta\lambda_n = \frac{\Delta P_N}{\frac{1}{F_i''}} \dots\dots\dots(16)$$

$$P_i = \frac{\lambda - \beta}{2\gamma} \dots\dots\dots(17)$$

Apabila besar total dari kapasitas P_1, P_2 sampai dengan P_i kurang dari target yang ditentukan maka nilai λ untuk iterasi selanjutnya akan di-update menjadi lebih besar dari λ sebelumnya. Namun, ketika nilai total dari kapasitas P_1, P_2 sampai dengan P_i lebih besar dari target yang ditentukan maka dilakukan update sebaliknya sehingga nilai λ untuk iterasi

selanjutnya harus lebih kecil dari λ sebelumnya. Iterasi akan berhenti selain karena mencapai iterasi tertentu (10 iterasi di penelitian ini) juga akan berhenti setelah hasil dari P_1, P_2 sampai dengan P_i sama dengan target[4]–[6].

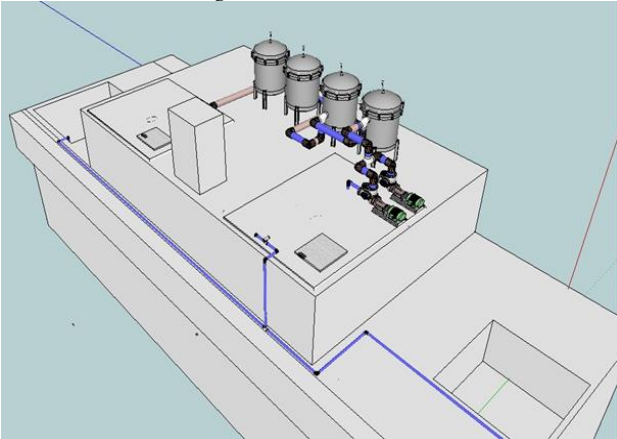
Pada Gambar 1 merupakan perancangan sistem keseluruhan dengan menggunakan sensor ultrasonik pada tangki *Water Treatment Plant* (WTP), sensor ultrasonik memiliki luaran analog dengan output tegangan 0 s.d. 10 volt disertai modul tambahan IC L293D. IC ini menghasilkan 2 output sinyal analog, dan dapat terkoneksi ke analog input *Programmable Logic Controllers* (PLC). Hasil pengolahan sensor akan diolah oleh kontroller dengan logika algoritma Iterasi Lambda untuk mengendalikan kecepatan motor pompa air dengan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD). Dengan mengatur nilai frekuensi pada tegangan output AC yang keluar dari *Variable Speed Drive* (VSD), maka kecepatan putar motor pompa air akan berubah serta debit air juga akan ikut berubah. Untuk mengetahui konsumsi energi yang dibutuhkan oleh kedua motor pompa air pada tangki *Water Treatment Plant* (WTP) digunakan powermeter dengan penambahan modul MAX485 yang berguna sebagai komunikasi serial dan mentransfer data dengan kecepatan maksimum 30Mbps.



Gambar 1. Konfigurasi Sistem Pengatur Kecepatan Pompa

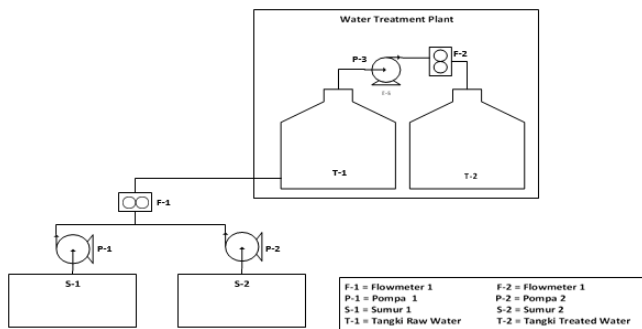
Selanjutnya motor pompa air bertipe Ebara dengan kapasitas motor pompa air nya yaitu 4 kW dan 5 kW digunakan sebagai aktuator untuk memompa air dari sumur 1 dan sumur 2. Untuk menghidupkan dan mengatur kecepatan pada kedua motor pompa air tersebut tergantung dengan pembacaan sensor ketinggian yang diolah oleh algoritma iterasi lambda. Ketika ketinggian air yang terdapat pada tangki *Water Treatment Plant* (WTP) terbaca pada nilai tertentu

maka *Programmable Logic Controllers (PLC)* memberikan sinyal kontrol agar untuk menggerakkan kedua motor pompa air dengan rasio tertentu pula menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)*. Gambar 2 merupakan gambaran dari ilustrasi *Water Treatment Plant (WTP)*, dan Gambar 3 merupakan *Piping and Instrumentation Diagram* dari Sistem WTP.



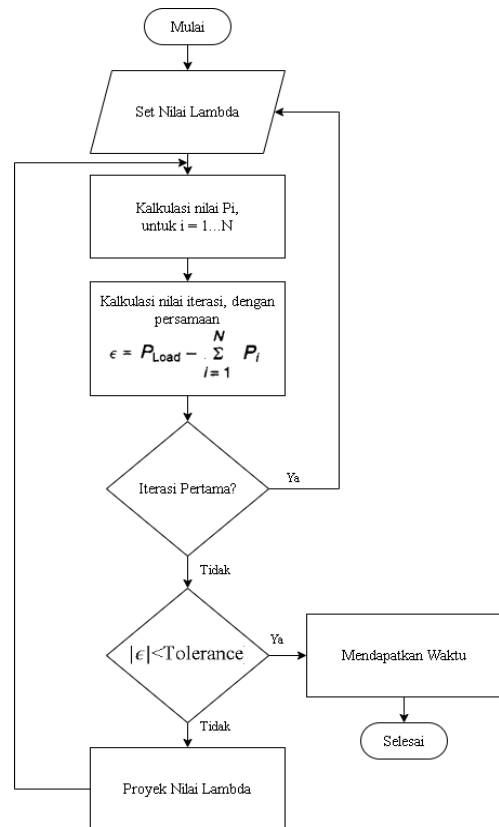
Gambar 2 Ilustrasi *Water Treatment Plant (WTP)*

Pada ilustrasi Gambar 2, motor pompa air ke-1 menggunakan motor sentrifugal Ebara 4kW berkapasitas 250 liter/menit, serta memiliki *total head* atau daya dorong vertikal 38 meter. Dan untuk kapasitas motor pompa air ke-2 menggunakan motor sentrifugal Ebara 5kW tersebut sebesar 200 liter/menit serta memiliki *total head* atau daya dorong vertikal 55 meter.



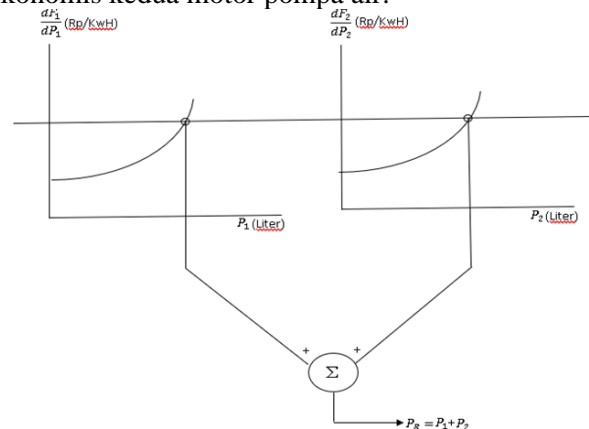
Gambar 3 *Piping & Instrumentation Diagram System Water Treatment Plant*

Pada Gambar 4 adalah Algoritma dari metode Iterasi Lambda dengan mengabaikan kerugian. Iterasi Lambda umumnya digunakan pada operasi *Economic Dispatch* untuk operasi paralel dua atau lebih pembangkit dengan perbedaan karakteristik untuk memenuhi kesetimbangan daya. Pendekatan solusi untuk masalah ekonomis ini dengan mempertimbangkan teknik grafis yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada kasus ini, sistem dua motor pompa air pada plant WTP ingin dicari nilai ekonomis yang optimal.



Gambar 4 Algoritma Iterasi Lambda

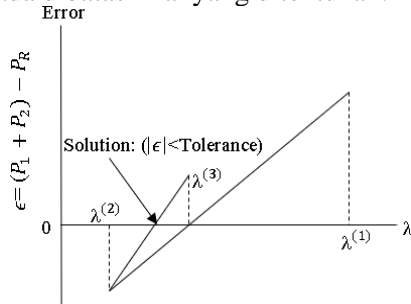
Untuk menetapkan titik operasi ekonomis masing-masing dari kedua motor pompa air dengan sedemikian rupa sehingga memiliki biaya minimum. Pada Gambar 4, proyeksi nilai lambda terus dicari sampai dengan nilai iterasi tertentu atau ketika error sudah mendekati nol. Nilai Lambda (λ) kemudian digunakan untuk menentukan durasi waktu yang diperlukan untuk masing-masing motor pompa aktif untuk menghasilkan volume yang dibutuhkan. Dengan demikian secara logis dapat berimbang pada tingkat konsumsi daya, tingkat konsumsi energi dan tingkat konsumsi biaya masing-masing motor pompa. Gambar 5 menunjukkan solusi grafis dari operasi ekonomis kedua motor pompa air.



Gambar 5 Grafis Solusi Operasi Ekonomis

Pada Gambar 6 apabila data dalam komputer dalam mencari harga suatu fungsi pada suatu titik yang nilai tersebut sudah diketahui, maka untuk

menemukan titik operasi yang tepat dalam toleransi yang ditentukan, dapat ditunjukkan pada Algoritma pada gambar 4. Dengan melibatkan penghitungan berapa kali melalui *loop* dan berhenti ketika jumlah iterasi maksimum terlampaui atau nilai toleransi sudah berada dibatas nilai yang ditentukan.



Gambar 6 Proyeksi Lambda

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 7 merupakan dokumentasi dari proses perancangan perangkat keras dari beberapa wiring diagram yang sudah dibuat dan proses instalasi yang dilakukan di WTP.



Gambar 7. Hasil Prototipe Perangkat Keras dan Dokumentasi Instalasi

Pada Tabel 1 merupakan data koefisien unit motor pompa air 1 dan motor pompa air 2, dengan kapasitas daya motor pompa air 1 sebesar 4kW, debit air sebesar 10 liter/detik dan motor pompa air 2 sebesar 5kW, debit air sebesar 12 liter/detik. Pada isi tabel tersebut merupakan perhitungan yang digunakan fungsi biaya rupiah/liter sebagai berikut:

Tabel 1. Data Koefisien Daya Motor Pompa

Motor PompaAir	a (Rp/Jam.L iter ²)	b (Rp/Jam. Liter)	c (Rp/Ja m)
Motor PompaAir 1	39	0,162	1500
Motor PompaAir 2	43,5	0,172	1500

Dengan memasukkan semua variable pada Tabel 1 pada masing-masing karakteristik motor pompa air maka didapatkan persamaan fungsi biaya pada masing-masing motor pompa pada persamaan 17 dan 18.

$$F_1 = 0,486P^2 + 0,018P + 1500 \dots\dots\dots(17)$$

$$F_2 = 0,541P^2 + 0,019P + 1500 \dots\dots\dots(18)$$

Kondisi untuk Optimum Dispatch bisa dilihat pada Persamaan 19 dan 20.

$$\frac{\partial F_1}{\partial P_1} = 0,018 + 0,972P_1 = \lambda \rightarrow P_1 = \frac{\lambda - 0,018}{0,972} \dots\dots\dots(19)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial P_2} = 0,019 + 1,082P_2 = \lambda \rightarrow P_2 = \frac{\lambda - 0,019}{1,082} \dots\dots\dots(20)$$

Dengan memasukkan batasan unit pompa air pada kapasitas kerja terbaik (40-80% kapasitas) maka akan muncul *constraint* untuk masing-masing pompa. Sebagaimana terlihat pada persamaan 21 dan 22.

$$25,452 < P_1 < 101,816 \dots\dots\dots(21)$$

$$30,542 < P_2 < 112 \dots\dots\dots(22)$$

Tabel 2 Menampilkan hasil iterasi Lambda sampai dengan iterasi ke-11 yang sudah konvergen didapatkan volume tanki sebesar 112 m³ atau 112.000 liter.

Tabel 2. Tabulasi Iterasi Lambda kedua Pompa Air

Iterasi Ke-	λ (Rp/Liter)	VolumeAir (m ³)	Pompa1 (m ³)	Pompa2 (m ³)
1	50	97,614	51,421	46,193
2	60	117,114	61,709	55,435
3	59	115,192	60,681	54,511
4	55,84	109,02	57,430	51,590
5	56,20	109,723	57,800	51,923
6	56,85	110,993	58,469	52,524
7	57,20	111,676	58,829	52,847
8	57,36	111,871	58,932	52,939
9	57,35	111,969	58,983	52,986
10	57,36	111,988	58,993	52,995
11	57,366	112	59	53

Dari hasil perhitungan yang telah didapatkan pada perhitungan sebelumnya maka dapat menghitung biaya motor pompa air yang optimal dengan menggunakan fungsi biaya dari masing-masing motor pompa air pada persamaan 17 dan 18, menjadi sebagai berikut

$$F_1 = 0,486(59)^2 + 0,018(59) + 1500$$

$$F_1 = 3.192,828$$

$$F_2 = 0,541(53)^2 + 0,019(53) + 1500$$

$$F_2 = 3.020,676$$

Sehingga Total Biaya setiap siklus pengisian adalah $F_1 + F_2 = \text{Rp } 6.214,-$ (pembulatan ke atas). Nilai ini tentu lebih murah dibandingkan dengan estimasi sebelumnya tanpa metode iterasi lambda sebesar disekitar Rp 9.424,- (lebih hemat 34,1%).

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian penggunaan metode Iterasi Lambda yang biasa digunakan pada operasi ekonomis sistem tenaga listrik, ternyata juga secara efektif bisa diterapkan dalam operasi ekonomis penggunaan motor pompa air. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, penjadwalan operasi motor pompa air yang optimal adalah pada perhitungan Iterasi ke-11, dengan hasil perhitungan motor pompa air pertama harus memompa volume sebesar 59 m³ lalu untuk motor pompa air kedua sebesar 53 m³. Penjadwalan ini juga berimbas pada penurunan biaya operasi motor pompa yang sebelumnya diestimasikan sebesar Rp 9.424,- dalam satu siklus pengisian menjadi Rp 6.214,- dalam satu siklus pengisian, hal ini berarti metode Iterasi Lambda mampu mereduksi biaya sebesar 34,1%.

V. SARAN

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melibatkan lebih banyak motor pompa yang digunakan dalam operasi paralel motor pompa air. Disisi lain penggunaan metode kecerdasan buatan juga layak dipertimbangkan agar mendapatkan konvergensi yang lebih baik. Kombinasi dengan kendali konvensional seperti PID controller juga layak dipertimbangkan agar menghasilkan respon motor pompa yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami haturkan terima kasih kepada Laboratorium *Electric Drive and Power Electronics System* di bawah naungan Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi – Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan PT Indolakto Pandaan dimana studi kasus penelitian ini dikerjakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, “*Power Generation, Operation, and control*,” p. 444, 1984.
- [2] C. W. Priananda, A. Rajagukguk, D. C. Riawan, Soedibyo, and M. Ashari, “*New approach of maximum power point tracking for static miniature photovoltaic farm under partially shaded condition based on new cluster topology*,” in *2017 15th International Conference on Quality in Research (QiR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering*, 2017, pp. 444–449. doi: 10.1109/QIR.2017.8168527.
- [3] S. Hadi, “*Power system analysis*”.
- [4] N. Sartika, A. G. Abdullah, and D. L. Hakim, “*Schedulling Economical Thermal Power Plant 500 KV Java-Bali System Using Lagrange Multiplier*,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 180, p. 12073, 2017, doi: 10.1088/1757-899x/180/1/012073.
- [5] S. Granville, “*Optimal reactive dispatch through interior point methods*,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, no. 1, pp. 136–146, 1994, doi: 10.1109/59.317548.
- [6] J. P. Zhan, Q. H. Wu, C. X. Guo, and X. X. Zhou, “*Fast λ -iteration method for economic dispatch with prohibited operating zones*,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 2, pp. 990–991, 2014, doi: 10.1109/TPWRS.2013.2287995.