

Optimasi Sistem Boiler dengan Variasi Pengaturan Temperatur (Boiler System Optimization by Temperature Setting Variation)

^{(1)*}*Muhammad Nuriyadi*, ⁽²⁾*Faldian Faldian*

^{(1),(2)}*Program Studi Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung,
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Bandung 40559*

*Email: nuriyadi@polban.ac.id

Diterima: 01.11.2019 Disetujui: 15.11.2019 Diterbitkan: 30.11.2019

ABSTRACT

In the air conditioning system, hot water boilers are used for the purpose of room heating and reheating processes. In tropical countries, the function of space heating is carried out for process rooms, while the function of hot water for the reheating process is widely used. In this case, the hot water produced by the boiler is used for the reheating process in the Air Handling Unit (AHU). In the process of energy conservation, to reduce the use of energy in boiler systems, especially in air conditioning systems to make it more efficient, it is necessary to take steps to save energy along with the evaluation process of energy use, identify opportunities for energy savings, and recommendations for increasing efficiency in energy use. This study aims to evaluate the boiler system to ensure that the design of the boiler system can work and produce planned air conditioning, as well as assess energy-saving opportunities. Boiler system performance testing is done by setting various variations in the temperature of the hot water output, which is 50 °C, 60 °C, 70 °C, and 80 °C. Testing is done by looking at how long it takes to reach the set temperature. After that, each increase in temperature is calculated as the resulting efficiency. The average combustion energy consumption in the boiler is 50.23 kJ/s. The average energy transferred to hot water is 39.82 kJ/s. Overall the highest efficiency of the boiler system is achieved at a set temperature of 80 °C, which is 71.5 %.

Keywords: performance evaluation, reheat, boiler system, temperature, optimization, energy efficiency.

ABSTRAK

Pada sistem tata udara, boiler air panas digunakan untuk keperluan pemanasan ruangan dan proses reheat. Di negara tropis, fungsi pemanasan ruang dilakukan untuk ruang proses, sedangkan fungsi air panas untuk proses reheat banyak digunakan. Dalam hal ini, air panas yang dihasilkan oleh boiler digunakan untuk proses reheat pada Air Handling Unit (AHU). Dalam proses konservasi energi, untuk menekan penggunaan energi pada sistem boiler, khususnya pada sistem tata udara agar lebih efisien, maka perlu dilakukan langkah-langkah penghematan beserta proses evaluasi pemanfaatan energi, identifikasi peluang penghematan energi, dan rekomendasi peningkatan efisiensi pada penggunaan energi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi sistem boiler untuk memastikan bahwa rancangan atau desain sistem boiler mampu bekerja dan menghasilkan pengkondisian udara yang direncanakan, serta mengevaluasi peluang penghematan energi. Pengujian kinerja sistem boiler dilakukan dengan pengaturan berbagai variasi temperatur keluaran air panas, yaitu adalah 50 °C, 60 °C, 70 °C, dan 80 °C. Pegujian dilakukan dengan melihat berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur setting. Setelah itu, setiap kenaikan temperatur dihitung besar efisiensi yang dihasilkan. Rata-rata konsumsi energi pembakaran pada boiler adalah sebesar 50,23 kJ/s. Rata-rata energi yang ditransfer terhadap air panas sebesar 39,82 kJ/s. Secara keseluruhan efisiensi tertinggi sistem boiler dicapai pada temperatur setting 80 °C, yakni sebesar 71,5%.

Kata Kunci: evaluasi kinerja, reheat, sistem boiler, temeperatur, optimasi, efisiensi energi.

I. Pendahuluan

Peralatan sistem pengkondisi udara (*air conditioning*) banyak digunakan hampir disetiap proses industri, transportasi, supermarket, rumah sakit dan lain-lain. Peralatan ini salah satu yang paling banyak mengkonsumsi energi (listrik) yaitu sekitar 50%. Pada daerah tropis seperti Indonesia yang memiliki temperatur dan kelembaban rata-rata harian yang tinggi, mesin tata udara digunakan untuk memberikan kenyamanan kepada manusia (Nuriyadi, 2018).

Untuk menekan penggunaan energi agar lebih efisien, maka perlu langkah-langkah penghematan dan ini sesuai dengan peraturan menteri ESDM no.14 pasal 7 tahun 2012 tentang Manajemen Energi, yang menyatakan audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi. Kondisi optimum untuk efektifitas perpindahan panas sebesar 77,17% dan biaya operasi sebesar 30,58 kW. Kondisi tersebut dicapai pada saat *level diameter luar tubing* sebesar 1,5 inci, *transversal spacing* sebesar 3,5 inci, dan kerapatan *fin* sebesar 3 *fin/inci* (Akbar, Suryadi, & Prastyo, 2009). Salpanio (Salpanio, 2011) melakukan penelitian tentang audit energi pada Gedung Kampus Undip Semarang, pada tahun 2007. Penelitian ini dilakukan dengan menghitung nilai penggunaan energi pada masing-masing ruangan yang ada di gedung kampus dan penelitian ini membutuhkan implementasi dan pengamatan langsung di lapangan. Penelitian mengenai IKE atau intensitas konsumsi energi listrik juga pernah diteliti. IKE merupakan istilah yang digunakan untuk mengetahui besarnya pemakaian energi pada suatu sistem. Nilai IKE ini diketahui dengan membandingkan total penggunaan energi listrik dengan luas gedung (Effendi, 2016).

Pada sistem tata udara, *boiler* merupakan peralatan yang digunakan untuk memanaskan air pada sistem tata udara sentral, baik untuk ruang proses maupun untuk proses *reheat*. Koil yang terpasang pada AHU (*Air Handling Unit*) merupakan alat penukar kalor yang dalam hal ini digunakan untuk mengkondisikan udara yang disuplaikan ke ruangan. Pemanasan berlangsung secara sekunder, artinya air dipanaskan pada *water boiler*, kemudian air panas tersebut dialirkan ke AHU untuk

memanaskan udara suplai. Semakin besar laju aliran air *Air Handling Unit* (AHU) pada sistem tata udara maka semakin besar kemampuan koil mentransfer panas. Penelitian tersebut belum mengkaji kapasitas pemanasan koil dari sisi udara yang melaluinya (Senoadi, Arya, Zainulsjah, & Erens, 2015). Hal yang sama juga dilakukan Rasta (Rasta, 2007) yang menyimpulkan jika laju aliran volume air semakin besar maka nilai NTU (*Number of Transfer Unit*) juga mengalami peningkatan.

Pada koil pemanas terjadi pertukaran kalor antara udara dan air. Kalor yang dilepaskan diserap oleh air sehingga udara yang melewati koil pemanas mengalami kenaikan temperatur secara *sensible*. Menurut Kamenetskii (Kamenetskii, 2008) menyatakan bahwa pembentukan kerak di *boiler* memainkan peran penentu di antara faktor-faktor yang menyebabkan temperatur dinding dan tekanan termal aksial naik hingga nilai batas di mana tabung *waterwall* kehilangan kekuatannya. Kondisi dimana terjadi ketidakseragaman hidraulik dari panel tabung air, sebuah fenomena yang merangsang pertumbuhan kerak dalam tabung yang tidak sesuai. Lam, dkk. (Lam, Wa, Lam, & Wong, 2010) menyatakan bahwa hasil simulasi-DOE selama 1979–2008 dan regresi data prediksi selama 2009–2100 menunjukkan tren peningkatan dalam beban pendinginan tahunan dan penggunaan energi, serta pengurangan bertahap dalam kebutuhan pemanasan yang sudah tidak signifikan dalam gedung kantor yang didominasi oleh pendingina di daerah dengan iklim subtropis.

Rumusan masalah pada penelitian ini meliputi bagaimana cara untuk mengevaluasi kinerja sistem *boiler* di Jurusan Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung. Selanjutnya, cara untuk meningkatkan efisiensi energi (optimasi) pada sistem *boiler*. Kemudian, bagaimana peluang penghematan energi pada sistem *boiler* dengan sistem evaluasi efisiensi energi.

II. Bahan dan Metode

2.1. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan dan alat dalam pelaksanaan penelitian ini tercantum pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Peralatan penelitian

No	Nama perangkat	Spesifikasi
1	Air Handling Unit 1 Tipe 39EA206852	Kapasitas 35 KW Air Flow 5000 lps
2	Air Handling Unit 2 Tipe 28CW1416HB1049	Kapasitas 20 KW Air Flow 3000 lps
3	Pompa Distribusi (HWSP) Torishima ETA-N 50x32-160	Daya 3,7 KW, 5 HP Kapasitas 15 m ³ /hr Head 10 m, 2880 rpm
4	Pipa Distribusi AHU 1	Panjang 45 m, 5 Tee Diameter 2 in, 13 elbow
5	Pipa Distribusi AHU 2	Dimensi (Panjang x Dim) 4 m x 2 ¹ / ₂ in, 37 m x 2 in, 14 m x 1 ¹ / ₂ in, 4-Tee, 12 elbow
6	Bahan bakar	50 liter

2.2. Pengujian Kinerja Sistem Boiler

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian, yakni pengujian kapasitas pemanasan berdasarkan debit air, pengujian sistem pompa distribusi air dingin, dan pengujian *heating time* terhadap temperatur air yang dicapai *water boiler*.

Pengujian mesin *water boiler* secara umum dilakukan untuk mengetahui kinerja mesin secara keseluruhan. Pada pengujian ini, dilakukan pengukuran besaran-besaran debit air *water boiler*, temperatur dan tekanan air di *boiler* dan pompa, temperatur dan tekanan air sebelum dan setelah koil, arus, tegangan, dan daya pada pompa.

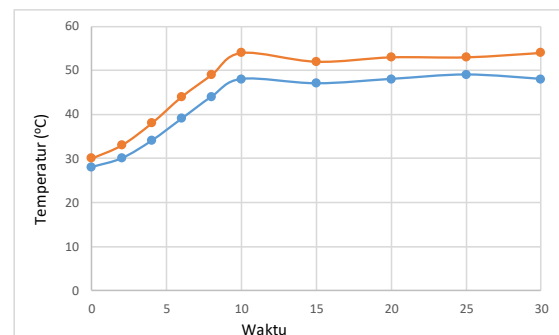
Besaran-besaran yang diukur pada pengujian sistem *boiler*, tekanan *suction* pompa, tekanan *discharge* pompa, temperatur air masuk *boiler*, temperatur air keluar *boiler*, debit air volume bahan bakar. Pengukuran besaran-besaran tersebut dilakukan untuk menganalisis kinerja *boiler*. Berdasarkan kinerja dari *boiler*, maka kapasitas *boiler*, efisiensi *boiler*, kinerja pompa, dan kapasitas pemanasan udara dapat dihitung. Evaluasi kinerja sistem *boiler* dilakukan dengan membandingkan kinerja sistem *boiler* pada beberapa *setting* temperatur.

III. Hasil dan Pembahasan

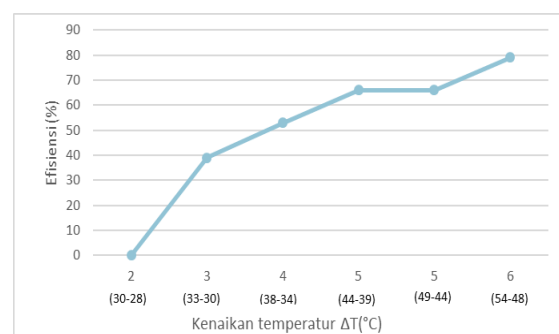
Berdasarkan hasil pengambilan data dan perhitungan data yang dilakukan, parameter yang menunjukkan performansi *boiler* pemanas air adalah efisiensi energi. Oleh karena itu, dilakukan analisa efisiensi *boiler* selama proses tercapainya temperatur *setting*. Analisis efisiensi dilakukan dalam bentuk grafik, yaitu dengan mengamati perubahan efisiensi *boiler* setiap pengambilan data.

3.1. Analisis Temperatur Setting 50 °C

Profil temperatur pada *boiler* 50 °C terlihat pada **Gambar 1**. Untuk menganalisa efisiensi *boiler* sebelum tercapai temperatur *setting* 50 °C, digunakan grafik efisiensi terhadap selisih temperatur masuk dan keluar *boiler*, sebagaimana terlihat dalam **Gambar 2**.



Gambar 1. Profil temperatur pada pengujian 50 °C



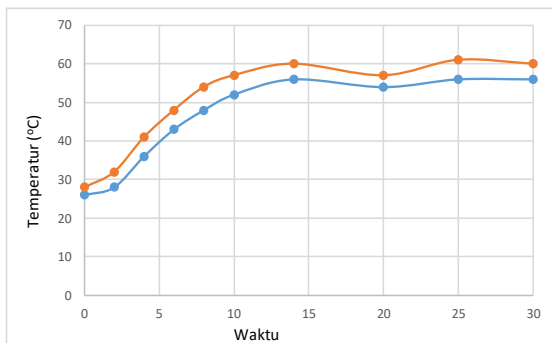
Gambar 2 Grafik efisiensi pada temperatur setting 50 °C terhadap kenaikan temperatur (ΔT)

Berdasarkan grafik pada **Gambar 2**, terlihat bahwa efisiensi *boiler* pemanas air dari menit pertama hingga menit terakhir mengalami kenaikan. Pada pengambilan data menit ke-6 dan menit ke-8 efisiensi *boiler* konstan di 66 %. Hal ini karena selisih temperatur masuk dan keluar *boiler* sama, yaitu 5 °C. Efisiensi *boiler* terbesar berada saat akhir pengambilan data, yaitu saat temperatur *setting*

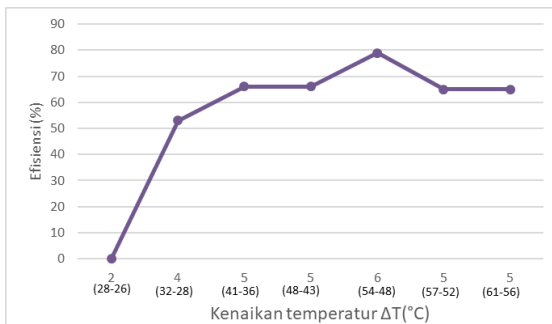
tercapai besarnya adalah 79,26 %. Hal itu dikarenakan selisih antara temperatur masuk dan temperatur keluar boiler paling besar yaitu sebesar 6 °C dari 54 °C temperatur keluar boiler dan 48 °C temperatur masuk boiler.

3.2. Analisis Temperatur Setting 60 °C

Profil temperatur pada boiler 60 °C terlihat pada Gambar 3. Untuk menganalisa efisiensi boiler sebelum tercapai temperatur setting 60 °C, digunakan grafik efisiensi terhadap selisih temperatur masuk dan keluar boiler, sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.



Gambar 3. Profil temperatur pada pengujian 60 °C



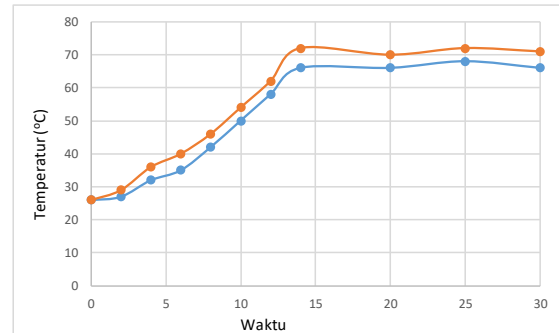
Gambar 4. Grafik efisiensi pada temperatur setting 60 °C terhadap kenaikan temperature (ΔT)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, terlihat bahwa efisiensi boiler pemanas air dari menit pertama hingga menit ke-6 mengalami kenaikan dari 0-66,2 %. Kemudian, dari menit ke-6 hingga menit ke-8 konstan pada 66,2 % karena selisih temperatur antara masukan dan keluaran boiler sama yaitu 5 °C. Pada menit ke-10 efisiensi boiler menjadi 79,26 % karena selisih temperatur antara masukan dan keluaran boiler mengalami kenaikan menjadi 6 °C. Kemudian pada menit selanjutnya, selisih temperatur masuk dan keluaran boiler mengalami penurunan hingga akhir pengambilan data, sehingga efisiensi boiler

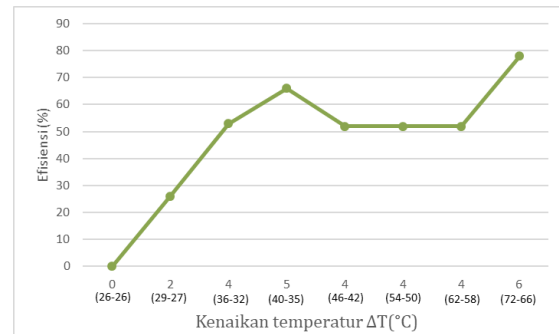
juga menurun. Efisiensi boiler saat temperatur setting tercapai adalah 65,80 %.

3.3. Analisis Temperatur Setting 70 °C

Profil temperatur pada boiler 70 °C terlihat pada Gambar 5. Untuk menganalisa efisiensi boiler sebelum tercapai temperatur setting 70 °C, digunakan grafik efisiensi terhadap selisih temperatur masuk dan keluar boiler, sebagaimana terlihat dalam Gambar 6.



Gambar 5. Profil temperatur pada pengujian 70 °C



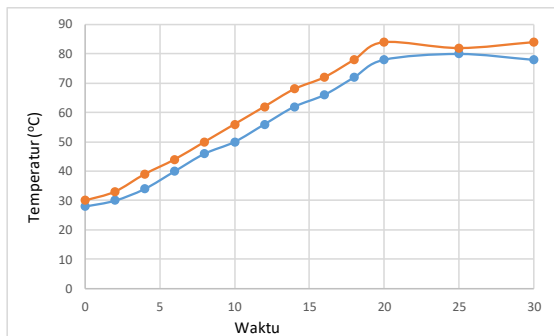
Gambar 6. Grafik efisiensi pada temperatur setting 70 °C terhadap kenaikan temperature (ΔT)

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, terlihat bahwa efisiensi boiler pemanas air dari menit pertama hingga menit ke-6 pengambilan data mengalami kenaikan dari 0-66,41 %. Kemudian, mengalami penurunan selisih temperatur masuk dan keluaran boiler pada pengambilan data menit ke-8 hingga menit ke-12 menjadi 4 °C, sehingga efisiensi boiler menurun menjadi 52,99 %. Selanjutnya, pada saat temperatur setting tercapai, selisih temperatur air masuk dan keluaran boiler mengalami kenaikan menjadi 6 °C, sehingga efisiensi boiler meningkat menjadi 78,51 %.

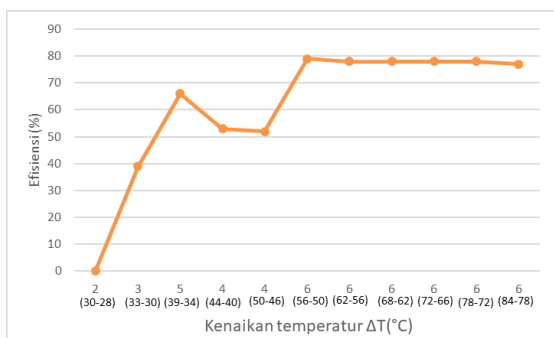
3.4. Analisis Temperatur Setting 80 °C

Profil temperatur pada boiler 80 °C terlihat pada Gambar 7. Untuk menganalisa efisiensi boiler sebelum tercapai temperatur setting 80

°C, digunakan grafik efisiensi terhadap selisih temperatur masuk dan keluar boiler, sebagaimana terlihat dalam **Gambar 8**.



Gambar 7. Profil temperatur pada pengujian 80 °C



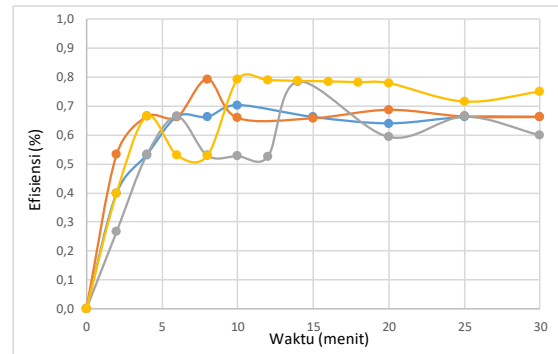
Gambar 8. Grafik efisiensi pada temperatur setting 80 °C terhadap kenaikan temperatur (ΔT)

Berdasarkan grafik pada **Gambar 8**, terlihat bahwa efisiensi boiler pemanas air dari awal pengambilan data hingga menit ke-4 mengalami kenaikan. Kemudian pada menit ke-6 dan menit ke-8 mengalami penurunan menjadi 52,91 %. Kenaikan dan penurunan efisiensi di setiap menit pengambilan data dipengaruhi oleh kenaikan dan penurunan selisih temperatur masuk dan keluar boiler. Pada menit ke-10, pengambilan data selisih temperatur masuk dan keluar boiler mengalami kenaikan menjadi 6 °C, sehingga efisiensi boiler menjadi 79,18 %. Pada menit selanjutnya, efisiensi boiler menurun menjadi 78,23 %, meskipun selisih temperatur masuk dan keluar boiler nilainya sama, hal ini disebabkan oleh nilai ρ_{air} yang berbeda. Dan saat temperatur setting tercapai efisiensi boiler menurun menjadi 77,94 %.

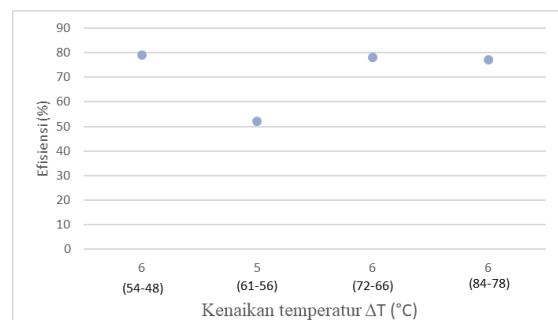
3.5. Perbandingan Efisiensi Boiler

Perbandingan efisiensi untuk setiap pengujian dapat dilihat pada **Gambar 9**. Sedangkan, untuk menganalisa efisiensi boiler pemanas air saat temperatur setting tercapai,

digunakan grafik sebagaimana terlihat pada **Gambar 10**.



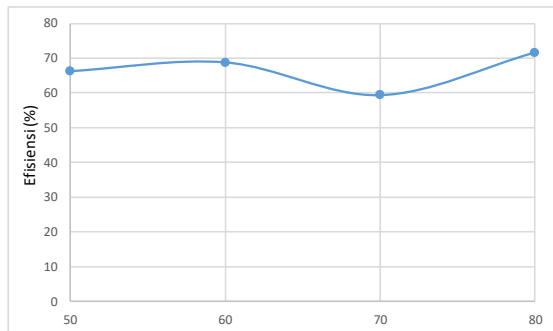
Gambar 9. Grafik efisiensi selama pengujian



Gambar 10. Grafik efisiensi saat temperatur setting tercapai terhadap kenaikan temperatur ΔT

Berdasarkan grafik pada **Gambar 10**, terlihat bahwa efisiensi boiler pemanas air, saat temperatur setting tercapai, mengalami perubahan yang tidak jauh berbeda. Perhitungan efisiensi untuk setiap temperatur setting memiliki nilai debit air dan debit bahan bakar yang sama. Efisiensi paling besar pada temperatur setting 50 °C yaitu 79,26 %. Hal ini, dikarenakan selisih temperatur antara temperatur masuk dan keluar boiler sebesar 6 °C. Efisiensi paling rendah pada temperatur setting 60 °C yaitu 65,8 %. Hal ini, dikarenakan selisih temperatur antara temperatur masuk dan keluar boiler sebesar 5 °C.

Secara keseluruhan efisiensi tertinggi sistem boiler dicapai pada temperatur setting 80 °C, yakni sebesar 71,5 %. Sedangkan pada temperatur setting 50 °C, 60 °C, dan 70 °C, masing-masing memiliki efisiensi berturut-turut adalah 66,2 %, 68,7 %, dan 59,4 %. Tampilan uraian tentang efisiensi secara keseluruhan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Grafik efisiensi terhadap temperatur setting

IV. Kesimpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan antara lain kinerja sistem boiler telah dievaluasi dengan variasi pengaturan temperatur air panas masing-masing adalah 50 °C, 60 °C, 70 °C, dan 80°C. Rata-rata konsumsi energi pembakaran pada boiler adalah sebesar 50,23 kJ/s. Rata-rata energi yang ditransfer terhadap air panas sebesar 39,82 kJ/s. Secara keseluruhan efisiensi tertinggi sistem boiler dicapai pada setting temperature 80 °C, yakni sebesar 71,5%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (UPPM) Politeknik Negeri Bandung yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Peningkatan Kapasitas Program Studi Tahun Anggaran 2019.

Daftar Pustaka

- Akbar, M. S., Suryadi, F., & Prastyo, D. D. (2009). Kinerja Economizer pada Boiler. *Jurnal Teknik Industri*, 11(1), 72-81. doi:<https://doi.org/10.9744/jti.11.1.pp.%2072-81>
- ASHRAE. (2015). *ASHRAE Handbook - HVAC Application*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).
- ASHRAE. (2016). *ASHRAE Handbook 2016: HVAC Systems and Equipment*. Atlanta:
- American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).
- Effendi, A. (2016). Evaluasi Intensitas Konsumsi Energi Listrik Melalui Audit Awal Energi Listrik di RSJ.Prof.HB.Saanin Padang. *Jurnal Teknik ELEktro ITP*, 5(2), 103-107.
- Kamenetskii, B. Y. (2008). Reliability of furnace waterwalls of hot-water boilers. *Thermal Engineering*, 55(9), 780-784. doi:<https://doi.org/10.1134/S0040601508090097>
- Lam, J. C., Wa, K. K., Lam, T. N., & Wong, S. L. (2010). An analysis of future building energy use in subtropical Hong Kong. *Energy*, 35(3), 1482-1490. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.005>
- Nuriyadi, M. (2018). Analisis Numerik Simulasi Kinerja Sistem Tata Udara Unitary Menggunakan Liquid-Suction Heat Exchanger dengan Refrigeran Hidrokarbon. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 2(2), 11-18. doi:<http://dx.doi.org/10.30588/jeemm.v2i2.419>
- Rasta, I. M. (2007). Pengaruh Laju Aliran Volume Chilled Water terhadap NTU pada FCU Sistem AC Jenis Water Chiller. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 72-79. doi:<https://doi.org/10.9744/jtm.9.2>
- Salpanio, R. (2011). *Audit Energi Listrik pada Gedung Kampus Undip Pleburan Semarang*. Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Senoadi, S., Arya, A. C., Zainulsjah, Z., & Erens, E. (2015). Pengaruh Debit Aliran Air terhadap Proses Pendinginan pada Mini Chiller. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Indonesia XIV*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.