

Optimasi Sistem HVAC di Gedung UMKM 3 Lantai Universitas Sumatera Utara Menggunakan *Pipe Flow Expert* untuk efisiensi energi dan pengurangan *Head Loss*

Arif Fadillah Nasution

Prodi Teknik Mesin, Universitas Al-Azhar Medan, Jl. Pintu Air IV No. 214 Kwala Bekala, Padang Bulan, Medan, Sumatera Utara, Indonesia
e-mail: ariffadillahnasution49@gmail.com

Abstrak

Sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC) sangat penting untuk memastikan kenyamanan dan efisiensi energi. Akibat head loss yang tinggi dalam sistem perpipaan HVAC, gedung UMKM tiga lantai menghadapi masalah efisiensi energi. Hal ini menyebabkan peningkatan konsumsi energi dan biaya operasional. Dengan menggunakan perangkat lunak *Pipe Flow Expert*, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem HVAC gedung UMKM untuk menghemat energi. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional dengan mengurangi kehilangan head dalam jaringan pipa dan meningkatkan efisiensi pompa. Untuk mengurangi kehilangan head dan mengurangi daya yang dibutuhkan sistem, penelitian ini menggunakan simulasi pipa expert flow untuk menguji konfigurasi sistem pipa yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pipa dengan diameter lebih kecil dan panjang lebih panjang cenderung menghasilkan kehilangan kepala yang lebih besar, yang berarti pompa menggunakan lebih banyak daya. Oleh karena itu, merekomendasikan untuk mengubah diameter pipa dan menggunakan material dengan koefisien kekasaran yang lebih rendah berhasil mengurangi kehilangan kepala hingga 30%, yang memungkinkan pompa beroperasi dengan lebih efisien. Diperkirakan ada penurunan daya total dari 5,96 kW menjadi 4,172 kW. Studi ini menemukan bahwa pengoptimalan sistem perpipaan dan efisiensi pompa secara signifikan meningkatkan kinerja sistem ventilasi dan pendinginan (HVAC) di gedung UMKM Universitas Sumatera Utara. Studi ini juga memberikan kontribusi penting untuk pengembangan sistem HVAC yang lebih efisien dan ramah lingkungan, dan jugadapatdigunakan sebagai contoh untuk penelitian dan pengembangan sistem serupa di masa depan.

Kata kunci: Optimasi HVAC, Head loss, Efisiensi energi, *Pipe Flow Expert*

Abstract

Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems are essential for ensuring comfort and energy efficiency. Due to high head loss in the HVAC piping system, the three-story SME building faces energy efficiency issues, leading to increased energy consumption and operational costs. Using *Pipe Flow Expert* software, this study aims to optimize the SME building's HVAC system to conserve energy. The main goal of this research is to reduce energy consumption and operational costs by decreasing head loss within the piping network and improving pump efficiency. To achieve head loss reduction and decrease system power requirements, this study utilized *Pipe Flow Expert* simulations to test various piping configurations. Results show that pipes with smaller diameters and longer lengths tend to generate greater head loss, causing pumps to consume more power. Recommendations for modifying pipe diameter and selecting materials with lower roughness coefficients successfully reduced head loss by up to 30%, enabling pumps to operate more efficiently. A total power reduction from 5.96 kW to 4.172 kW was observed. This study concludes that optimizing piping systems and enhancing pump efficiency significantly improves the performance of HVAC systems in the SME building at Universitas Sumatera Utara. Additionally, this study provides a valuable contribution toward developing more efficient and environmentally friendly HVAC systems and can serve as a model for similar research and development in the future.

Keywords HVAC optimization, Head loss, Energy efficiency, *Pipe Flow Expert*

1. PENDAHULUAN

Untuk membuat lingkungan di gedung nyaman, sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC) sangat penting, terutama di tempat pendidikan seperti Universitas Sumatera Utara. Dengan meningkatnya kesadaran akan efisiensi energi dan dampak yang ditimbulkannya terhadap lingkungan, sistem pendinginan dan ventilasi (HVAC) harus dioptimalkan secara maksimal [1]. Gedung UMKM tiga lantai ini adalah salah satu fasilitas pendidikan yang membutuhkan sistem ventilasi dan pendinginan (HVAC) yang efisien dalam penggunaan energi [2]. Penting untuk melakukan analisis dan optimasi sistem perpipaan yang digunakan dalam sistem HVAC karena *head loss* yang tinggi dapat meningkatkan konsumsi energi, mengurangi efisiensi sistem, dan meningkatkan biaya operasional [3][4][5]. Ini karena *head loss* yang tinggi adalah salah satu tantangan utama dalam desain dan operasional sistem HVAC.

Sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) memainkan peran penting dalam menjaga kenyamanan termal dan kualitas udara dalam ruangan, terutama di gedung bertingkat seperti UMKM Universitas Sumatera Utara (USU) [6]. Namun, sistem HVAC sering kali menghadapi tantangan dalam hal efisiensi energi dan *head loss* yang tinggi, yang dapat mengakibatkan peningkatan biaya operasional dan penurunan kinerja sistem [7]. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan, optimasi sistem HVAC menjadi semakin krusial [8]. Penggunaan perangkat lunak simulasi seperti *Pipe Flow Expert* memungkinkan analisis yang mendalam dan perbaikan desain sistem perpipaan untuk mengurangi *head loss* dan meningkatkan efisiensi energi [9].

Dalam penelitian ini, *Pipe Flow Expert* akan digunakan sebagai alat bantu untuk menganalisis dan mengoptimalkan sistem perpipaan HVAC di gedung UMKM [10]. Diharapkan bahwa perangkat lunak ini akan memberikan kontribusi positif terhadap pengelolaan energi gedung dengan mengurangi kehilangan kepala dan meningkatkan efisiensi energi [11]. Metode ini juga diharapkan dapat mendukung upaya Universitas Sumatera Utara dalam meningkatkan efisiensi energi. Di Universitas Sumatera Utara, gedung UMKM yang terdiri dari tiga lantai menghadapi tantangan dalam hal efisiensi energi dan pengurangan *head loss* dalam sistem HVAC. *Head loss* yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi, yang tidak hanya berdampak pada biaya operasional tetapi juga berkontribusi terhadap emisi karbon yang lebih tinggi. Oleh karena itu, optimasi sistem HVAC menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan [12]. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem HVAC di gedung UMKM tiga lantai Universitas Sumatera Utara dengan menggunakan perangkat lunak *Pipe Flow Expert*. Dengan melakukan analisis dan simulasi, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi sistem HVAC, mengurangi *head loss* dalam sistem pipa, memberikan rekomendasi desain yang lebih baik untuk sistem HVAC di gedung UMKM-USU. Keterbaruan penelitian ini terletak pada penerapan teknologi simulasi *Pipe Flow Expert* dalam konteks sistem HVAC di gedung UMKM, yang masih jarang dilakukan di Indonesia. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem HVAC yang lebih efisien dan ramah lingkungan, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya di bidang optimasi sistem HVAC [13]. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya bermanfaat bagi Universitas Sumatera Utara, tetapi juga dapat diadopsi oleh institusi lain yang menghadapi tantangan serupa.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, penulis mengkaji mengenai efisiensi energi dan kerugian energi pada sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) di UMKM-USU. Adapun metode yang digunakan yaitu analisis korespondensif yaitu dengan melakukan analisis ulang sistem HVAC menggunakan *software Pipe Flow Expert* yang digunakan untuk menghitung efisiensi dan kerugian energi yang terjadi pada perencanaan tersebut.



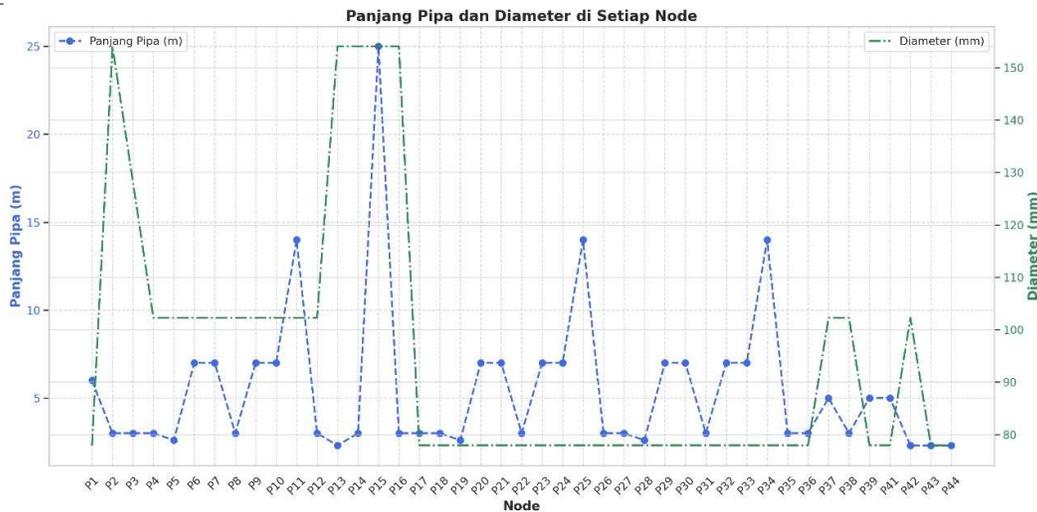
Gambar.1 Lokasi penelitian dan Gambar perencanaan UMKM-USU

2.1 Data aliran pipa HVAC

Untuk melakukan analisis dan perhitungan HVAC diperlukan data aliran pipa dan material serta diameter yang digunakan, adapun data tersebut

Tabel.1 Panjang dan Diameter Pipa

No.	Node	Panjang Pipa	Ø Dia (mm)	No.	Node	Panjang Pipa	Ø Dia (mm)
1.	P1	6	77.9	23.	P23	7	77.92
2.	P2	3	154.05	24.	P24	7	77.92
3.	P3	3	128.19	25.	P25	14	77.92
4.	P4	3	102.26	26.	P26	3	77.92
5.	P5	2.6	102.26	27.	P27	3	77.92
6.	P6	7	102.26	28.	P28	2.6	77.92
7.	P7	7	102.26	29.	P29	7	77.92
8.	P8	3	102.26	30.	P30	7	77.92
9.	P9	7	102.26	31.	P31	3	77.92
10.	P10	7	102.26	32.	P32	7	77.92
11.	P11	14	102.26	33.	P33	7	77.92
12.	P12	3	102.26	34.	P34	14	77.92
13.	P13	2.3	154.05	35.	P35	3	77.92
14.	P14	3	154.05	36.	P36	3	77.92
15.	P15	2.5	154.05	37.	P37	5	102.26
16.	P16	3	154.05	38.	P38	3	102.26
17.	P17	3	77.92	39.	P39	5	77.92
18.	P18	3	77.92	41.	P41	5	77.92
19.	P19	2.6	77.92	42.	P42	2.3	102.26
20.	P20	7	77.92	43.	P43	2.3	77.92
21.	P21	7	77.92	44.	P44	2.3	77.92
22.	P22	3	77.92				
Total		124.5		Total		112.5	



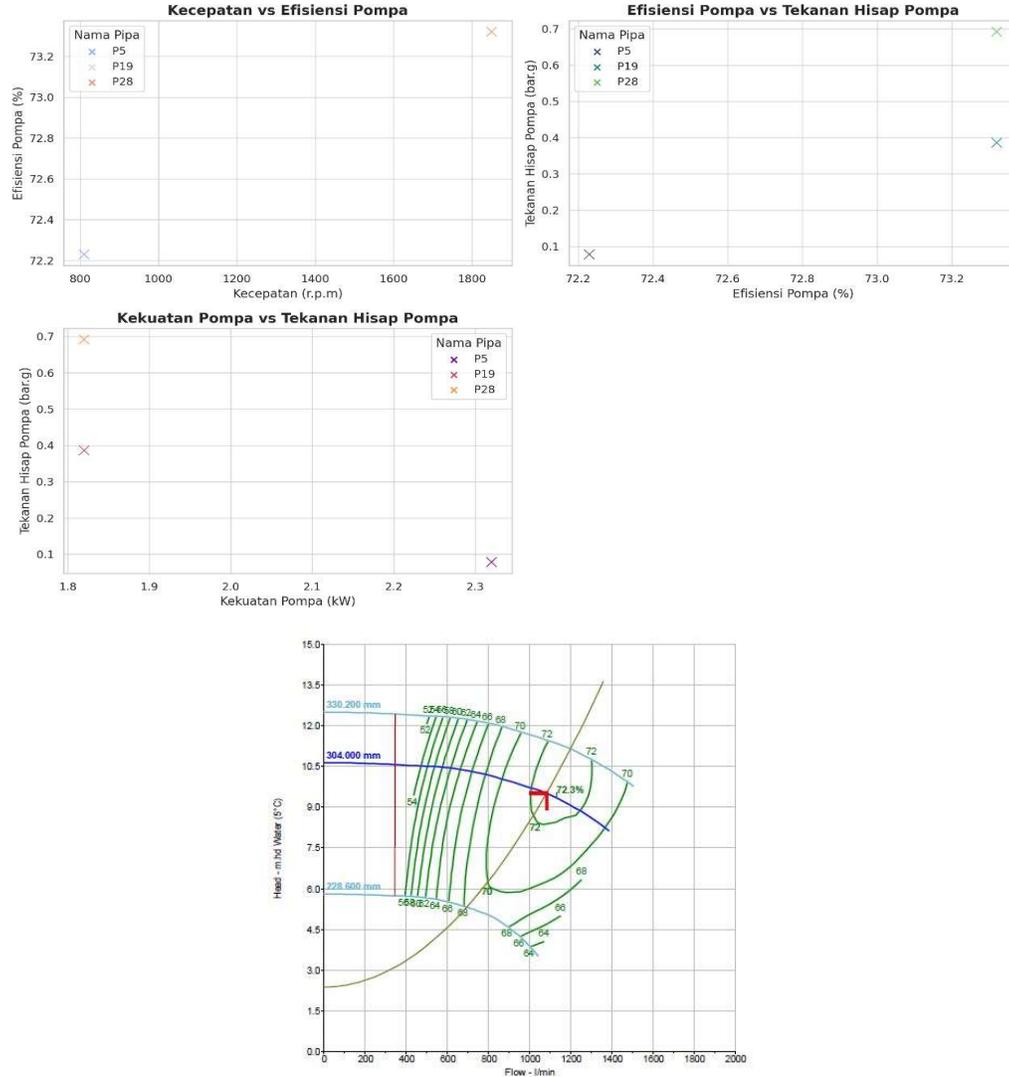
Gambar 2. Grafik Panjang dan Diameter Pipa

Sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC) merupakan komponen penting dalam bangunan modern, terutama pada bangunan bertingkat seperti gedung tiga lantai [14]. Salah satu elemen kunci dalam sistem HVAC adalah pompa, yang berfungsi untuk mendistribusikan air dingin atau panas ke berbagai bagian bangunan. Pemakaian pompa dalam mekanisme HVAC tidak hanya meningkatkan efisiensi sistem, tetapi juga memastikan kenyamanan penghuni dengan menjaga suhu dan kualitas udara yang optimal [15]. Adapun pompa yang dipakai yaitu:

Tabel.2 Data Pompa

Nama Pipa	Kecepatan (r.p.m)	Efisiensi Pompa	Kekuatan (Kilowatts)	Pompa Tekanan Hisap Pompa (bar.g)
P5	810	72.23	2.32	0.0784
P19	1850	73.32	1.82	0.3861
P28	1850	73.32	1.82	0.6918

Analisis Variabel Pompa Berdasarkan Nama Pipa



Gambar 3. Grafik analisis Pompa

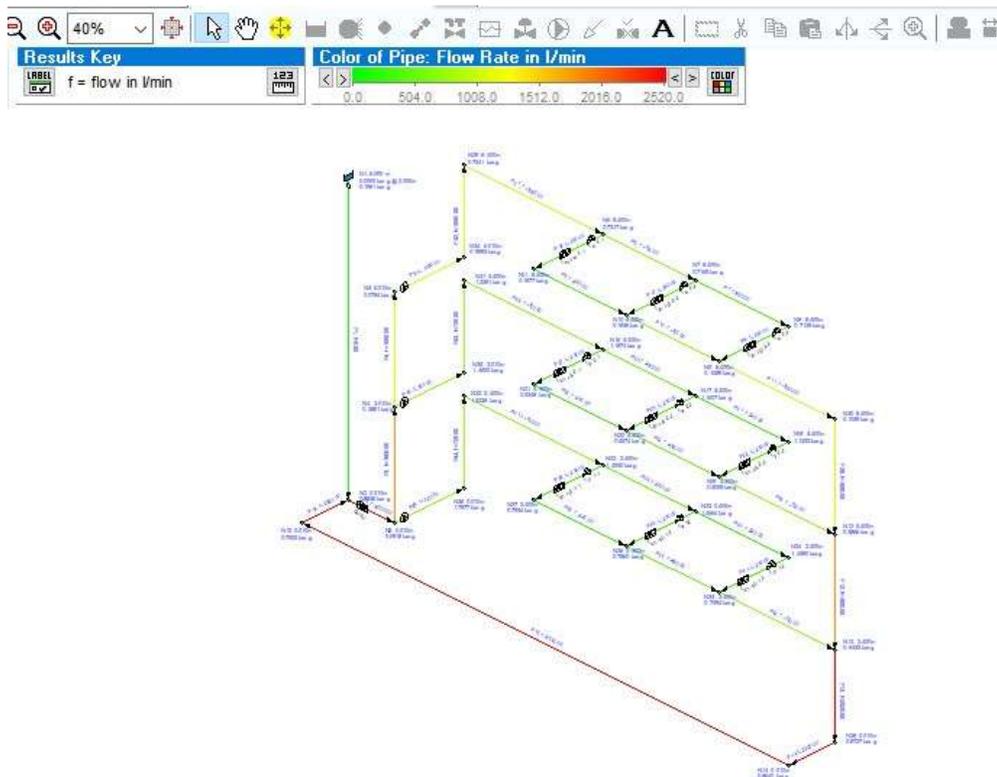
Data tersebut tentang kinerja pompa menunjukkan berbagai parameter operasional seperti kecepatan, efisiensi, daya, dan tekanan hisap. Memahami parameter ini sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja pompa dan konsumsi energi dalam aplikasi pipa. Bagian berikut menguraikan aspek-aspek kunci kinerja pompa berdasarkan literatur yang relevan. Pompa beroperasi pada kecepatan yang berbeda, dengan P5 pada 810 rpm dan P19/P28 pada 1850 rpm [16]. Efisiensi sedikit bervariasi di antara pompa, dengan P5 pada 72,23% dan P19/P28 pada 73,32%, menunjukkan bahwa kecepatan yang lebih tinggi tidak selalu berkorelasi dengan efisiensi yang lebih tinggi [17]. Konsumsi daya relatif rendah, dengan P5 mengkonsumsi 2,32 kW, sedangkan P19 dan P28 masing-masing mengkonsumsi 1,82 kW. Tekanan hisap bervariasi secara signifikan, dengan P5 pada 0,0784 bar.g, P19 pada 0,3861 bar.g, dan P28 pada 0,6918 bar.g, menunjukkan bahwa tekanan hisap yang lebih tinggi dapat dikaitkan dengan kecepatan operasional yang lebih tinggi [18].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu hasil utama dari penelitian ini adalah penemuan bahwa *head loss* yang tinggi dalam sistem perpipaan HVAC dapat diatasi dengan merancang ulang jalur pipa dan memilih komponen yang lebih efisien. *Head loss* yang berlebihan tidak hanya meningkatkan konsumsi energi, tetapi juga dapat mengurangi umur sistem HVAC secara keseluruhan. Dengan menggunakan *Pipe Flow Expert*, kami dapat menguji berbagai konfigurasi dan menemukan solusi yang paling efisien. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perbaikan desain perpipaan dapat mengurangi *head loss* hingga 30%, yang secara signifikan akan menurunkan biaya energi operasional.

3.1 Analisis Head Loss

Melalui simulasi menggunakan *Pipe Flow Expert*, sistem HVAC di gedung UMKM tiga lantai dianalisis untuk mengidentifikasi area dengan *head loss* tertinggi dalam jaringan pipa. *Head loss* yang tinggi diketahui berdampak langsung pada konsumsi energi yang dibutuhkan pompa untuk mempertahankan aliran. Dengan *Pipe Flow Expert*, distribusi *head loss* di sepanjang jaringan dapat diidentifikasi dan dianalisis untuk membantu meminimalkan kehilangan ini melalui optimasi desain, seperti penyesuaian diameter pipa dan pemilihan material yang lebih halus.



Gambar 4. Simulasi menggunakan *Pipe Flow Expert*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pipa dengan diameter yang lebih kecil dan panjang yang lebih besar cenderung menghasilkan *head loss* yang lebih tinggi. Oleh karena itu, beberapa rekomendasi yang dapat diambil antara lain:

- Penyesuaian diameter pipa
- Memperbesar diameter pada beberapa segmen pipa untuk mengurangi hambatan aliran (*Turbulen Flow*)

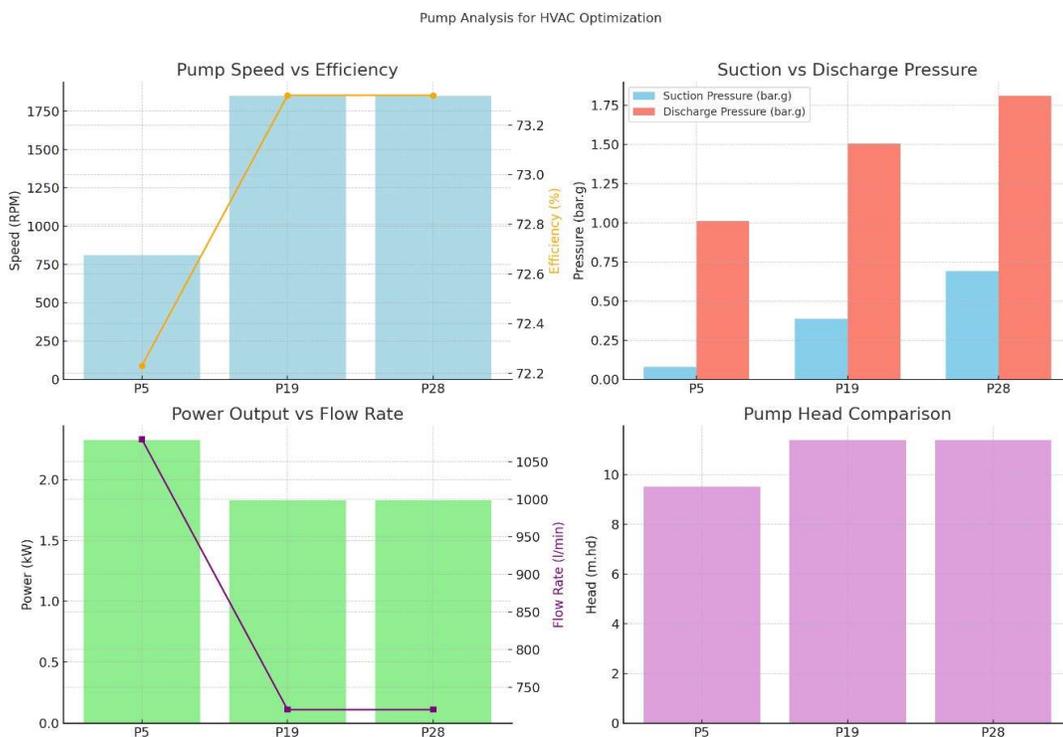
- Pemilihan material pipa dengan koefisien kekasaran lebih rendah
- Mengurangi kekasaran permukaan pipa untuk menekan *head loss*

3.2 Optimasi Efisiensi Pompa

Data pada Tabel 2 menyoroti variabel seperti kecepatan, efisiensi, kekuatan, dan tekanan hisap untuk masing-masing pompa (P5, P19, dan P28). Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi pompa dan pengurangan konsumsi energi dapat dicapai dengan mengoptimalkan kecepatan operasi dan memilih pompa dengan tekanan hisap yang sesuai untuk setiap lantai dan kebutuhan distribusi.

Dari data pompa, terlihat bahwa:

- Pompa dengan kecepatan lebih tinggi tidak selalu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa setiap pompa perlu dioperasikan pada kecepatan optimal yang sesuai dengan kebutuhan sistem.
- Tekanan hisap yang lebih tinggi pada P19 dan P28 dapat dikaitkan dengan kecepatan yang lebih tinggi, namun pemakaian energi lebih rendah dibandingkan P5, yang menunjukkan bahwa pompa yang beroperasi pada kecepatan optimal lebih efisien dari sisi energi.



Gambar 5. Optimasi Pompa

Dapat mengidentifikasi beberapa parameter utama yang memengaruhi performa pompa pada sistem HVAC gedung UMKM, yaitu:

- Kecepatan Putaran Pompa (RPM): Parameter ini menunjukkan kecepatan operasional dari setiap pompa. Pada data ini, pompa P5 beroperasi pada 810 rpm, sedangkan P19 dan P28 beroperasi pada kecepatan yang lebih tinggi, yaitu 1850 r.p.m.
- Efisiensi Pompa: Menunjukkan seberapa efisien energi pompa diubah menjadi kerja yang berguna dalam bentuk aliran fluida. P5 memiliki efisiensi 72.23%, sedangkan P19 dan P28

sedikit lebih tinggi pada 73.32%.

- *Head Pompa dan Tekanan:* Tekanan hisap dan buang memberikan indikasi resistensi aliran dalam sistem. Tekanan hisap P5 lebih rendah (0.0784 bar.g) dibandingkan dengan P19 (0.3861 bar.g) dan P28 (0.6918 bar.g). Hal ini menunjukkan variasi dalam distribusi tekanan di berbagai bagian sistem. Konsumsi
- *Daya (kW):* Daya yang dikonsumsi oleh pompa memberikan informasi penting terkait biaya energi. P5 memiliki daya konsumsi 2.324 kW, sedangkan P19 dan P28 mengkonsumsi daya lebih rendah yaitu 1.8285 kW
- *Head pompa yang dihasilkan berkaitan dengan tekanan di sisi hisap dan buang.* Data menunjukkan bahwa P5 memiliki tekanan hisap paling rendah (0.0784 bar.g) dan discharge pressure sebesar 1.0110 bar.g, menghasilkan head pompa sekitar 9.510 m.hd. Untuk P19 dan P28, tekanan hisap yang lebih tinggi (0.3861 dan 0.6918 bar.g) dan discharge pressure yang lebih tinggi juga menghasilkan head lebih besar, masing-masing pada 11.392 m.hd. Ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan pada pompa memungkinkan head yang lebih tinggi, yang dapat menguntungkan pada bagian bangunan yang membutuhkan distribusi aliran lebih besar atau lebih jauh.

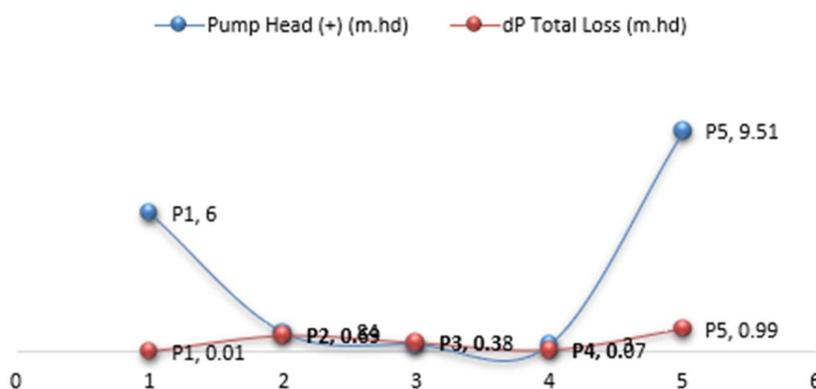
3.3 Head Pompa dan Tekanan dalam Sistem

Head pompa yang dihasilkan berkaitan dengan tekanan di sisi hisap dan buang. Data menunjukkan bahwa P5 memiliki tekanan hisap paling rendah (0.0784 bar.g) dan discharge pressure sebesar 1.0110 bar.g, menghasilkan head pompa sekitar 9.510 m.hd. Untuk P19 dan P28, tekanan hisap yang lebih tinggi (0.3861 dan 0.6918 bar.g) dan discharge pressure yang lebih tinggi juga menghasilkan head lebih besar, masing-masing pada 11.392 m.hd. Ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan pada pompa memungkinkan head yang lebih tinggi, yang dapat menguntungkan pada bagian bangunan yang membutuhkan distribusi aliran lebih besar atau lebih jauh.

Tabel.3 Pump head dan total loss

Pipe Id	Pump Head (+) (m.hd)	dP Total Loss (m.hd)	Pump Efficiency (%)
P1	6	0.01	72.23
P2	0.84	0.69	73.32
P3	0.3	0.38	73.32
P4	0.3	0.07	72.23
P5	9.51	0.99	73.32

Grafik hubungan head dan loss pompa



Gambar 6. Grafik Hubungan Pump Head dan Loss

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan antara lain:

1. Di gedung UMKM Universitas Sumatera Utara, sistem pendinginan, ventilasi, dan AC harus dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan. Sangat penting untuk memiliki sistem ventilasi dan pendinginan (HVAC) yang ideal, terutama pada bangunan bertingkat seperti gedung tiga lantai. Desain ulang sistem perpipaan dan pemilihan komponen yang lebih efisien diperlukan untuk mencapai ini.
2. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *Pipe Flow Expert*, diketahui bahwa *head loss* yang tinggi pada jaringan pipa disebabkan oleh pipa dengan diameter kecil dan panjang yang lebih besar. *Head loss* ini mengakibatkan konsumsi energi pompa yang lebih tinggi karena dibutuhkan daya tambahan untuk mengatasi resistensi aliran dalam pipa.
3. Pompa P5 beroperasi pada 810 rpm dengan konsumsi daya 2.32 kW dan efisiensi 72.23%. Ini berarti bahwa daritotal daya yangdikonsumsi, 1.675 kW dikonversi menjadi kerjayang berguna ($2.32 \text{ kW} \times 72.23\%$).
4. Pompa P19 dan P28 beroperasi pada 1850 rpm, dengan masing-masing konsumsi daya 1.82 kW dan efisiensi 73.32%. Dalam hal ini, 1.334 kW dikonversi menjadi kerja berguna ($1.82 \text{ kW} \times 73.32\%$).
5. Dengan mengurangi *head loss* hingga 30%, pompa dapat beroperasi dengan daya yang lebih rendah. Misalnya, jika daya yang dibutuhkan turun sebesar 30%, maka daya P5 akan turun menjadi sekitar 1.62 kW dan daya P19/P28 masing-masing menjadi sekitar 1.274 kW.
6. Jika sistem HVAC sebelumnya mengonsumsi daya total 5.96 kW ($P5 = 2.32 \text{ kW} + P19 = 1.82 \text{ kW} + P28 = 1.82 \text{ kW}$), maka dengan pengurangan daya sebesar 30%, perkiraan daya total akan menjadi 4.172 kW. Penghematan ini setara dengan pengurangan 1.788 kW atau sekitar 30% dari konsumsi energi awal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Prodi Teknik mesin Universitas Al-Azhar medan yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian dan fasilitas laboratorium yang dipakai untuk mengerjakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Seol, D. Arzmann, N. Kim, and A. Balderrama, "Estimation of Natural Ventilation Rates in an Office Room with 145 mm-Diameter Circular Openings Using the Occupant-Generated Tracer-Gas Method," *Sustain.*, vol. 15, no. 13, pp. 1–25, 2023, doi: 10.3390/su15139892.
- [2] C. Qin, S. Z. Zhang, Z. T. Li, C. Y. Wen, and W. Z. Lu, "Transmission mitigation of COVID-19: Exhaled contaminants removal and energy saving in densely occupied space by impinging jet ventilation," *Build. Environ.*, vol. 232, no. October 2022, p. 110066, 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110066.
- [3] Z. H. Siregar, J. Jufrizal, and B. K. Putra, "Pengaruh penambahan regenerator terhadap performansi mesin stirling tipe gamma," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, p. 194, 2022, doi: 10.35308/jmkn.v8i2.5957.
- [4] A. Aflaki, M. Esfandiari, and A. Jarrahi, "Multi-Criteria Evaluation of a Library's Indoor Environmental Quality in the Tropics," *Buildings*, vol. 13, no. 5, 2023, doi: 10.3390/buildings13051233.
- [5] L. R. Jia, Q. Y. Li, X. Chen, C. C. Lee, and J. Han, "Indoor Thermal and Ventilation Indicator on University Students' Overall Comfort," *Buildings*, vol. 12, no. 11, pp. 1–18, 2022, doi: 10.3390/buildings12111921.

-
- [6] Y. Chang, Z. Ai, J. Ye, and G. Ma, "A cost-effectiveness assessment of the operational parameters of central HVAC systems during pandemics," *Build. Simul.*, vol. 16, no. 5, pp. 667–682, 2023, doi: 10.1007/s12273-023-1000-x.
- [7] S. Jin, C. Lee, D. Kim, D. Lee, and S. Do, "Indoor Thermal Environment and Energy Characteristics with Varying Cooling System Capacity and Restart Time," *Sustain.*, vol. 14, no. 15, pp. 1–16, 2022, doi: 10.3390/su14159392.
- [8] X. Kong, Y. Chang, M. Fan, and H. Li, "Analysis on the thermal performance of low-temperature radiant floor coupled with intermittent stratum ventilation (LTR-ISV) for space heating," *Energy Build.*, vol. 278, p. 112623, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112623.
- [9] A. M. Stamatellou, O. Zogou, and A. Stamatelos, "Energy Cost Assessment and Optimization of Post-COVID-19 Building Ventilation Strategies," *Sustain.*, vol. 15, no. 4, 2023, doi: 10.3390/su15043422.
- [10] R. Madani and A. E. Winahyo, "Simulation-Based Exploration with Energyplus as an Energy Efficiency Strategy," *UKaRsT*, vol. 8, no. 1, pp. 55–66, 2024, doi: 10.30737/ukarst.v8i1.5534.
- [11] F. Ochs, N. Franzoi, G. Dermentzis, W. Monteleone, and M. Magni, "Monitoring and simulation-based optimization of two multi-apartment NZEBs with heat pump, solar thermal and PV," *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–26, 2024, doi: 10.1080/19401493.2023.2227605.
- [12] G. M. Thornton, B. A. Fleck, D. Dandnayak, E. Kroecker, L. Zhong, and L. Hartling, "The impact of heating, ventilation and air conditioning (HVAC) design features on the transmission of viruses, including the 2019 novel coronavirus (COVID-19): A systematic review of humidity," *PLoS One*, vol. 17, no. 10 October, pp. 1–23, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0275654.
- [13] L. Liu and Y. Huang, "HVAC Design Optimization for Pharmaceutical Facilities with BIM and CFD," *Buildings*, vol. 14, no. 6, 2024, doi: 10.3390/buildings14061627.
- [14] P. R. Dehankar, D. M. N. N. A. Farooqui, H. Ahmed, A. Khan, J. Hamdulay, and M. Mulla, "Designing of Energy efficient HVAC system," *Int. J. Res. Publ. Rev.*, vol. 5, no. 5, pp. 4424–4427, 2024, doi: 10.55248/gengpi.5.0524.1243.
- [15] M. Yunus, N. Putra, I. I. Hakim, F. Yulia, and Nasruddin, "Multi-Objective Optimization of Techno-Economic Feasibility of Heat Pipe Heat Exchanger (HPHE) for Air Conditioning Systems," *Adv. Sci. Technol.*, vol. 136, pp. 39–45, 2024, doi: 10.4028/p-k1GC4g.
- [16] M. Rakibuzzaman, S. H. Suh, H. W. Roh, K. H. Song, K. C. Song, and L. Zhou, "Hydraulic Performance Optimization of a Submersible Drainage Pump," *Computation*, vol. 12, no. 1, pp. 1–16, 2024, doi: 10.3390/computation12010012.
- [17] W. L. A, Q. Yang, Y. Yang, L. Ji, W. Shi, and R. Agarwal, "Optimization of pump transient energy characteristics based on response surface optimization model and computational fluid dynamics," *Appl. Energy*, vol. 362, no. 15 May 2024, p. 123038, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123038>.
- [18] L. Ji *et al.*, "Research Progress of Advanced Design Method, Numerical Simulation, and Experimental Technology of Pumps in Deep-Sea Resource Exploitation," *Water*, vol. 16, no. 13, pp. 1–49, 2024, doi: 10.3390/w16131881.
-