



Analisis Simulasi Pengaruh Laju Aliran Udara terhadap Efektivitas Penukar Kalor Tipe Sirip Pelat

Sony Sukmara¹, Erik Heriana², Moh Azizi Hakim³, Moh Azizi Hakim⁴, Haryadi⁵

^{1,2,3,4} Fakultas Teknologi dan Informatika universitas Mathla'ul Anwar Banten

⁵Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Email: *Zeehakim@gmail.com

Abstrak. Penukar kalor merupakan komponen penting dalam sistem termal teknik mesin, seperti pendinginan mesin, pengering, sistem HVAC, dan pemanfaatan panas buang. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh laju aliran udara terhadap efektivitas dan laju perpindahan panas pada penukar kalor tipe sirip pelat. Metode penelitian menggunakan simulasi numerik sederhana berbasis metode effectiveness-NTU dengan variasi laju aliran udara 1, 2, 3, 4, dan 5 m/s. Parameter yang digunakan meliputi suhu air panas masuk 80°C, suhu udara masuk 30°C, luas perpindahan panas 0,60 m², dan laju aliran massa air panas 0,03 kg/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan laju aliran udara menaikkan laju perpindahan panas dari 0,679 kW menjadi 1,584 kW. Namun, efektivitas penukar kalor cenderung menurun pada kecepatan udara yang lebih tinggi karena waktu kontak termal menjadi lebih singkat dan kapasitas panas udara meningkat. Berdasarkan hasil tersebut, laju aliran udara perlu diatur secara optimal agar diperoleh kompromi antara peningkatan kapasitas pendinginan dan efisiensi proses perpindahan panas.

Kata kunci: penukar kalor; sirip pelat; efektivitas; laju aliran udara; perpindahan panas

1 Pendahuluan

Penukar kalor adalah salah satu perangkat penting dalam bidang teknik mesin karena berfungsi memindahkan energi panas dari satu fluida ke fluida lain tanpa mencampurkan keduanya secara langsung [1]. Perangkat ini banyak digunakan pada sistem pendinginan, sistem pemanas, pengering, mesin kalor, sistem refrigerasi, dan pemanfaatan panas buang [2]. Kinerja penukar kalor sangat dipengaruhi oleh luas bidang perpindahan panas, karakteristik fluida, beda temperatur, serta laju aliran fluida yang melewati permukaan penukar kalor [3].

Pada penukar kalor tipe sirip pelat, udara berperan sebagai fluida pendingin yang mengalir melalui celah-celah sirip. Peningkatan laju aliran udara dapat memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi sehingga kapasitas pendinginan meningkat [4]. Namun, peningkatan kecepatan udara juga dapat menurunkan waktu kontak antara udara dan permukaan panas, sehingga efektivitas termal tidak selalu meningkat secara linier. Kondisi ini menunjukkan bahwa laju aliran udara perlu dianalisis agar rancangan penukar kalor dapat bekerja secara efisien [5].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menyajikan simulasi sederhana mengenai pengaruh variasi laju aliran udara terhadap efektivitas dan laju perpindahan panas pada penukar kalor tipe sirip pelat [6]. Fokus penelitian diarahkan pada pemodelan termal berbasis effectiveness-NTU untuk memberikan gambaran awal mengenai hubungan antara kecepatan udara, efektivitas, dan kapasitas perpindahan panas [7]. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar awal dalam perancangan sistem termal skala laboratorium atau sistem pendinginan sederhana [8].

2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik berbasis model termal penukar kalor. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan laju aliran udara dari 1 sampai 5 m/s. Fluida panas diasumsikan berupa air panas yang mengalir di dalam saluran, sedangkan fluida dingin berupa udara yang mengalir melewati sirip pelat. Perhitungan dilakukan untuk memperoleh kapasitas panas fluida, nilai NTU, efektivitas penukar kalor, laju perpindahan panas, serta temperatur keluaran fluida.

2.1 Parameter Simulasi

No	Parameter	Nilai
1	Jenis penukar kalor	Sirip pelat udara-air
2	Suhu air panas masuk	80°C
3	Suhu udara masuk	30°C
4	Laju aliran massa air panas	0,03 kg/s
5	Luas permukaan perpindahan panas	0,60 m ²
6	Luas saluran udara	0,025 m ²
7	Variasi laju aliran udara	1, 2, 3, 4, dan 5 m/s
8	Metode analisis	Effectiveness-NTU

Tabel 1. Parameter simulasi penukar kalor tipe sirip pelat

2.2 Formulasi Matematika

Laju aliran massa udara dihitung berdasarkan massa jenis udara, luas saluran, dan kecepatan aliran udara. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\dot{m}_a = \rho_a A_c v_a \quad (1)$$

Kapasitas panas masing-masing fluida dihitung dengan mengalikan laju aliran massa dengan kalor jenis fluida.

$$C = \dot{m} c_p \quad (2)$$

Nilai minimum dan maksimum kapasitas panas fluida digunakan untuk menentukan rasio kapasitas panas.

$$C_r = C_{\min} / C_{\max} \quad (3)$$

Jumlah satuan perpindahan panas atau number of transfer units dihitung menggunakan koefisien perpindahan panas menyeluruh, luas permukaan, dan kapasitas panas minimum.

$$NTU = U A / C_{\min} \quad (4)$$

Efektivitas penukar kalor untuk pendekatan aliran berlawanan dapat ditulis sebagai:

$$\varepsilon = [1 - \exp\{-NTU(1 - C_r)\}] / [1 - C_r \exp\{-NTU(1 - C_r)\}] \quad (5)$$

Laju perpindahan panas dihitung dari efektivitas, kapasitas panas minimum, dan beda temperatur masuk fluida panas dan fluida dingin.

$$Q = \varepsilon C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (6)$$

Temperatur keluaran fluida panas dan dingin dihitung berdasarkan neraca energi pada masing-masing fluida.

$$T_{h,out} = T_{h,in} - Q / C_h \quad (7)$$

$$T_{c,out} = T_{c,in} + Q / C_c \quad (8)$$



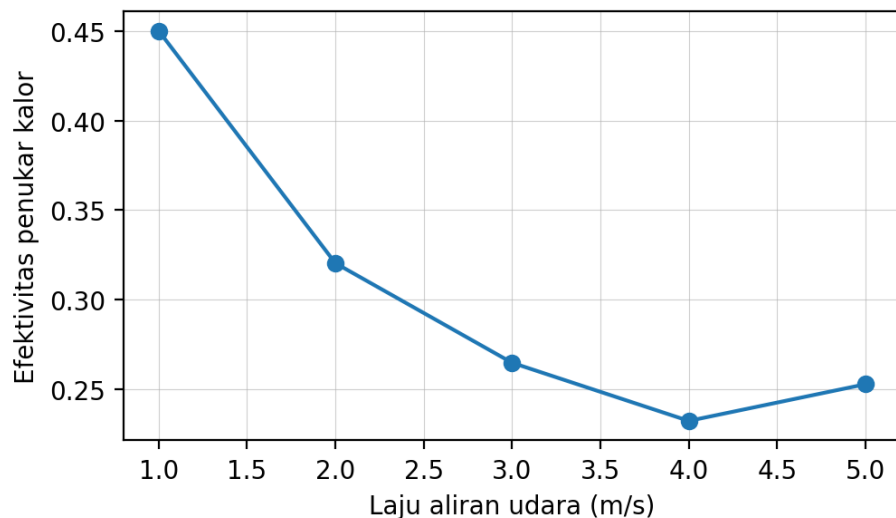
Gambar 1. Skema sederhana penukar kalor tipe sirip pelat

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa laju aliran udara memengaruhi kapasitas perpindahan panas dan efektivitas penukar kalor. Peningkatan laju aliran udara menyebabkan massa udara yang melewati sirip semakin besar, sehingga kemampuan sistem untuk membawa panas keluar dari penukar kalor juga meningkat. Namun, efektivitas tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya aliran, tetapi juga oleh keseimbangan kapasitas panas antara udara dan air panas.

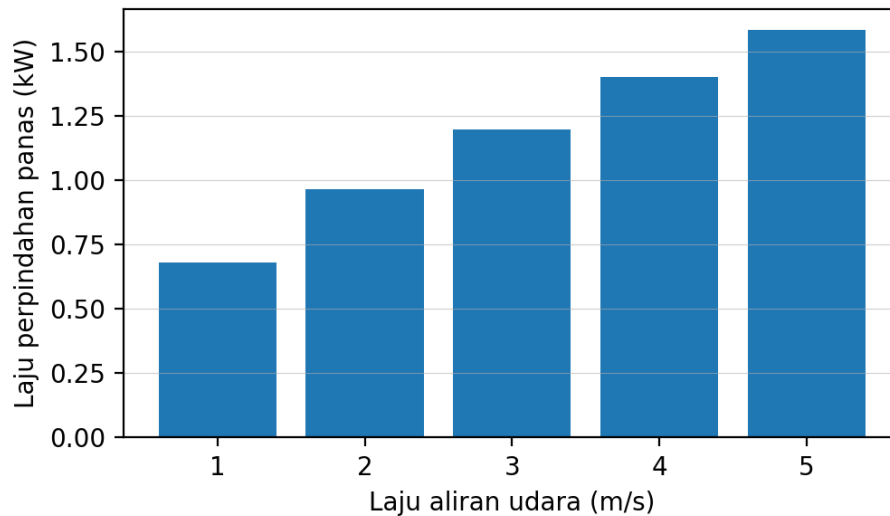
v udara (m/s)	m udara (kg/s)	U (W/m ² K)	NTU	Efektivitas ϵ	Q (kW)	T udara keluar (°C)
1	0.030	32.00	0.637	0.450	0.679	52.51
2	0.060	42.38	0.422	0.320	0.966	46.02
3	0.090	51.72	0.343	0.265	1.197	43.23
4	0.120	60.44	0.301	0.232	1.400	41.61
5	0.150	68.73	0.329	0.253	1.584	40.51

Tabel 2. Hasil simulasi efektivitas dan laju perpindahan panas



Gambar 2. Hubungan laju aliran udara terhadap efektivitas penukar kalor

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, efektivitas penukar kalor berada pada nilai tertinggi ketika laju aliran udara 1 m/s, yaitu sekitar 0,450. Ketika laju aliran udara dinaikkan, efektivitas cenderung menurun hingga berada pada kisaran 0,253 pada kecepatan 5 m/s. Penurunan ini terjadi karena peningkatan kapasitas panas udara menyebabkan perbandingan energi panas yang berhasil diserap terhadap panas maksimum teoritis menjadi lebih kecil. Dengan demikian, efektivitas tidak selalu meningkat ketika kecepatan udara dinaikkan.



Gambar 3. Pengaruh laju aliran udara terhadap laju perpindahan panas

Gambar 3 menunjukkan bahwa laju perpindahan panas meningkat dari 0,679 kW pada kecepatan udara 1 m/s menjadi 1,584 kW pada kecepatan udara 5 m/s. Peningkatan ini menunjukkan bahwa aliran udara yang lebih besar mampu membawa energi panas lebih banyak dari permukaan penukar kalor. Walaupun efektivitas menurun, kapasitas pendinginan total tetap meningkat karena massa udara yang mengalir lebih besar.

Dari sudut pandang desain teknik mesin, hasil simulasi ini menunjukkan adanya kompromi antara efektivitas termal dan kapasitas perpindahan panas. Laju aliran udara rendah memberikan efektivitas yang lebih tinggi, tetapi kapasitas panas yang dipindahkan lebih kecil. Sebaliknya, laju aliran udara tinggi meningkatkan kapasitas pendinginan, tetapi efektivitas relatif menurun. Oleh karena itu, pemilihan kecepatan udara perlu disesuaikan dengan tujuan rancangan, apakah mengutamakan efisiensi termal atau kapasitas pembuangan panas.

4 Kesimpulan

Penelitian ini telah menganalisis pengaruh laju aliran udara terhadap efektivitas dan laju perpindahan panas pada penukar kalor tipe sirip pelat menggunakan metode effectiveness-NTU. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan laju aliran udara dari 1 m/s sampai 5 m/s mampu menaikkan laju perpindahan panas dari 0,679 kW menjadi 1,584 kW. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit udara dapat memperbesar kapasitas pendinginan sistem.

Namun demikian, efektivitas penukar kalor cenderung menurun pada laju aliran udara yang lebih tinggi. Kondisi ini menunjukkan adanya kompromi antara peningkatan kapasitas perpindahan panas dan penurunan efektivitas termal. Untuk rancangan awal sistem termal skala laboratorium, laju aliran udara pada kisaran menengah dapat dipertimbangkan sebagai titik kerja yang lebih seimbang. Penelitian lanjutan disarankan untuk menambahkan pengujian eksperimental, variasi geometri sirip, dan analisis penurunan tekanan udara agar rancangan penukar kalor menjadi lebih komprehensif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi dan Informatika Universitas Mathla'ul Anwar Banten atas dukungan fasilitas dan masukan dalam penyusunan artikel ini.

5 Daftar Pustaka

- [1] E. Heriana, M. A. Hakim, A. Ekoprianto, S. Sukmara, and D. Susanto, "Analisis Kapasitas Baterai Dan Sistem Charger," *Technoma*, vol. 02, no. 01, 2022.
- [2] S. Wijaya *et al.*, "Program Peningkatan Kecakapan Hidup Berbasis Vocational Skill Untuk Membangun Jawa Wirausaha Mahasiswa Semester Akhir Mahasiswa Universitas Mathla'ul Anwar Banten," *J. Dharmabakti Nagri*, vol. 1, no. 3, pp. 133–139, 2023, doi: 10.58776/jdn.v1i3.81.
- [3] M. A. Hakim, E. Heriana, A. Ekoprianto, S. Sukmara, and D. Susanto, "RANCANGAN SISTEM PENGEMUDI JENIS RACK AND," vol. 01, no. 02, 2022.
- [4] F. Alqodar, R. Rizky, and A. M. Yunita, "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Aparatur Desa Terbaik Pada Desa Bendungan Menggunakan Algoritma Profile Matching," vol. 14, no. 1, 2025.
- [5] M. A. Hakim, E. Heriana, M. A. Hakim, S. Sukmara, and D. Susanto, "Perancangan kendaraan kampus dengan penggerak motor listrik," *Technoma*, vol. 01, no. 02, pp. 60–66, 2022.
- [6] A. M. Yunita, N. N. Wardah, A. Sugiarto, E. Susanti, L. Sujai, and R. Rizky, "Water level measurements at the cikupa pandeglang bantendam using fuzzy sugenowith microcontroler-based ultrasonik sensor," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1477, no. 5, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1477/5/052048.
- [7] Z. Hakim and R. Rizky, "Analisis Perancangan Sistem Informasi Pembuatan Paspor Di Kantor Imigrasi Bumi Serpong Damai Tangerang Banten Menggunakan Metode Rational Unified Process," vol. 6, no. 2, pp. 103–112, 2018.
- [8] R. Rizky and Z. Hakim, "Analysis and Design of Voip Server (Voice Internet Protocol) using Asterisk in Statistics and Statistical Informatics Communication of Banten Province using Ppdioo Method," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1179, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1179/1/012160.